

## ePub<sup>WU</sup> Institutional Repository

Andreas Thöni

Betriebswirtschaftliche Optimierung in mehrfachverbundenen Multi-Hub-Netzwerken am Beispiel europäischer Airlines

Working Paper

*Original Citation:*

Thöni, Andreas (2010) Betriebswirtschaftliche Optimierung in mehrfachverbundenen Multi-Hub-Netzwerken am Beispiel europäischer Airlines. *Schriftenreihe des Instituts für Transportwirtschaft und Logistik - Verkehr*, 01/2010. Institut für Transportwirtschaft und Logistik, WU Vienna University of Economics and Business, Vienna.

This version is available at: <http://epub.wu.ac.at/130/>

Available in ePub<sup>WU</sup>: July 2010

ePub<sup>WU</sup>, the institutional repository of the WU Vienna University of Economics and Business, is provided by the University Library and the IT-Services. The aim is to enable open access to the scholarly output of the WU.

**Schriftenreihe des  
Instituts für Transportwirtschaft und Logistik  
Nr. 1 (2010 VER)**

Thöni, Andreas

**Betriebswirtschaftliche Optimierung in mehrfachverbundenen  
Multi-Hub-Netzwerken am Beispiel europäischer Airlines**

**Herausgeber: die Professoren des Instituts für  
Transportwirtschaft und Logistik**

Diplomarbeit

# Betriebswirtschaftliche Optimierung in mehrfachverbundenen Multi-Hub Netzwerken am Beispiel europäischer Airlines

von

Andreas Thöni, BSc  
0426645

andreas.thoeni@gmx.net

Wien, am 10.06.2010



WIRTSCHAFTS  
UNIVERSITÄT  
WIEN VIENNA  
UNIVERSITY OF  
ECONOMICS  
AND BUSINESS

Betreuer:  
Betreuende Assistenten:  
Institut:  
Studienrichtung:

**Univ.-Prof. Dr. Sebastian Kummer**  
**Mag. Maria Dieplinger / Mag. Felix Badura**  
**Institut für Transportwirtschaft und Logistik**  
**Internationale Betriebswirtschaftslehre**



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation und Relevanz.....	1
1.2	Aufbau der Arbeit .....	2
1.2.1	Problemstellung/Fragestellung .....	2
1.2.2	Zielsetzung und Abgrenzung.....	3
1.2.3	Aufbau der Arbeit und Methodik .....	3
<b>2</b>	<b>Netzwerktheoretische Grundlagen.....</b>	<b>6</b>
2.1	Netzwerktheorie und graphische Repräsentationsformen .....	6
2.2	Graphentheoretische Airline-Netzwerkarten und deren Eigenschaften .....	9
2.2.1	Punkt-zu-Punkt Netzwerke .....	9
2.2.2	Hub-and-Spoke-Netzwerke inklusive Arten .....	10
2.3	Netzentwicklung als Führungsprozess .....	13
<b>3</b>	<b>Entwicklungen im europäischen Luftverkehr – hin zu Multi-Hub Netzwerken.....</b>	<b>15</b>
3.1	Jüngere historische Entwicklung .....	15
3.2	Konzentrationstendenzen in Europa .....	17
3.2.1	Allianzen.....	18
3.2.2	Übernahmen/ Merger.....	19
3.3	Praxisbeispiele .....	21
3.3.1	Lufthansa Übernahmen der letzten Jahre .....	21
3.3.2	Air France-KLM Merger .....	22
3.4	Vergleich zum Markt in den USA .....	22
3.5	Konsequenzen für Airlines .....	23
<b>4</b>	<b>Betriebswirtschaftliche Optimierungsfaktoren in europäischen Airline Netzwerken – ein Vergleich von Punkt-zu-Punkt, Single- und Multi-Hub Netzwerken.....</b>	<b>25</b>
4.1	Abgrenzung.....	25
4.2	Diskussion und vergleichende Analyse .....	27
4.2.1	Flugbetriebsbezogene Faktoren .....	27
4.2.2	Passagierindividuelle Faktoren .....	46
4.2.3	Infrastrukturbezogene Faktoren.....	55
4.2.4	Strategische Unternehmensfaktoren .....	64
4.3	Zusammenfassende Bewertung und Entscheidungsabwägung unter betriebswirtschaftlichen Optimierungsaspekten .....	72
<b>5</b>	<b>Simulation eines beispielhaften Netzwerkes.....</b>	<b>76</b>
5.1	Einführung und Klassifikation der Modelltypen .....	76
5.2	Modellbildung.....	77
5.2.1	Angewandtes Grundmodell .....	77
5.2.2	Adaption des Grundmodells für das betrachtete Multi-Hub Netzwerk .....	79
5.3	Simulation anhand eines Beispiels .....	85

---

5.3.1 Darstellung des Beispiels.....	85
5.3.2 Aufbau der Sensitivitätsanalyse.....	86
5.3.1 Darstellung der Inputparameter .....	88
5.3.2 Berechnung .....	91
5.3.3 Ergebnisse.....	91
<b>6 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>97</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>99</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>100</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>107</b>
A: Wechselkurse .....	107
B: Inputparameter des Simulationsmodells .....	107
C: Einstellungen für Excel Solver.....	110
D: Ergebnisse der 232 Fälle .....	111
E: Screenshots des Simulationsmodells .....	121

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung der verkauften Sitzkilometer (Juli 2005-Jänner 2009) und der Gewinne nach Steuern (2007/08) der IATA-Airlines .....	1
Abbildung 2: Schematischer Graph eines Beispiels von betrachteten Relationen von Destinationen in einem Multi-Hub Netzwerk .....	3
Abbildung 3: Aufbau der Arbeit .....	4
Abbildung 4: Beispielhafter, ungerichteter und vollständiger Graph .....	7
Abbildung 5: Beispielgraph und dessen Adjazenzmatrix .....	8
Abbildung 6: Punkt-zu-Punkt Netzwerk mit fünf Knoten (Flughäfen) .....	9
Abbildung 7: Beispielhafte Darstellung eines Hub-Netzwerkes mit fünf Knoten.....	10
Abbildung 8: Hub-Netzwerk mit Bündelungseffekten zwischen zwei großen Hubs .....	11
Abbildung 9: Sanduhr- und Hinterland-Hubs im Vergleich .....	11
Abbildung 10: Verkehrsspitzen von Lufthansa am Flughafen München (2005).....	12
Abbildung 11: Darstellung des Führungsprozesses der Netzentwicklung.....	13
Abbildung 12: Regulierungsinstrumente im internationalen Luftverkehr .....	15
Abbildung 13: Marktanteile der Allianzen 2008 (nach Passagieren) .....	18
Abbildung 14: Degressive Funktion der Kosten pro Sitzplatz für unterschiedliche Flugzeugmuster .....	29
Abbildung 15: Minimale Anzahl an Flugverbindungen, um alle Knoten in einem Netzwerk zu erreichen .....	31
Abbildung 16: Kostendegression aufgrund der Streckenlänge bei einem Airbus A321 in US Cents pro angebotenem Sitzkilometer (ASK) .....	33
Abbildung 17: Backtracking bei Single- und Multi-Hub Systemen im Vergleich .....	34
Abbildung 18: Unterschiedliche Hub- und Spoke-Flughafenkonstellationen im Vergleich .....	35
Abbildung 19: Wartezeiten von Flugzeugen an Spokes aufgrund von Wellensystemen.....	37
Abbildung 20: Verzahnung der Knoten beim Lufthansa Doppel-Hub System mit Frankfurt und München (2006) .....	38
Abbildung 21: Prozent der innereuropäischen Flüge der AEA mit Abflug- Verspätungen größer 15 Minuten (1996-2004).....	41
Abbildung 22: Kosten pro Minute Verspätung in Euro .....	42
Abbildung 23: Fehlerwahrscheinlichkeit bei sequentieller (a) und paralleler (b) Schaltung von Systemen.....	43
Abbildung 24: Korrelation zwischen den direkt fliegenden Business Passagieren und der Anzahl der täglichen Direktverbindungen (2002).....	50
Abbildung 25: Luftverkehrstypische S-Kurve in Bezug auf Service- /Kapazitätsanteil und Marktanteil.....	51
Abbildung 26: Kapazitätsbeschränkungen an europäischen Flughäfen 2003 bis 2025 bei Erreichen der maximalen Ausbaustufen.....	56
Abbildung 27: Verspätungen von Mitgliedsairlines der AEA an wesentlichen Flughäfen im Vergleich zur Flughafengröße (2004).....	60

Abbildung 28: Das Fenster der Profitabilität an Hubs .....	61
Abbildung 29: Entwicklung Umsteigeranteil am Flughafen München (MUC) 1999-2009 .....	64
Abbildung 30: Ausgewählte Ballungsräume um zentrale Städte in Bevölkerungsmillionen bei Erreichbarkeit innerhalb von 90 Minuten.....	65
Abbildung 31: Im Simulationsmodell verwendete Flughäfen und deren Entfernung [KM] zu den möglichen Hubs Frankfurt (FRA) und München (MUC) .....	86
Abbildung 32: Parameter und untersuchte Fälle der Sensitivitätsanalyse .....	87
Abbildung 33: Einzahlungsüberschüsse verschiedener Netzwerktopologien nach EDSS bei niederen Unterschieden UPN ohne Kapazitätsbeschränkungen und weitere MH Vorteile .....	93
Abbildung 34: Auswirkungen von EDSS in MH Netzwerken bei niederen Unterschieden in den Zahlungsbereitschaften für direkte und indirekte Verbindungen .....	93
Abbildung 35: Auswirkung der MH-spezifischen Parameter in MH Fällen mit mindestens niederer Zahlungsbereitschaft für Flugfrequenz bei niederen UPN .....	94
Abbildung 36: Auswirkung unterschiedlicher Zahlungsbereitschaften für Flugfrequenzen als Mittelwert verschiedener MH Fälle ohne Kapazitätsrestriktionen und hohen UPN .....	95
Abbildung 37: Kostendegression aufgrund der Streckenlänge bei einem Airbus A321 und ermittelte Regressionsgerade .....	109
Abbildung 38: Screenshot des Startbildschirms des Simulationsmodells .....	121
Abbildung 39: Ausschnitt des Arbeitsblattes zur Maximierung der Zielfunktion mittels Excel Solver.....	121
Abbildung 40: Arbeitsblatt mit den Parametereinstellungen als Input zur Berechnung der verschiedenen Fälle.....	122
Abbildung 41: Ausschnitt des Visual Basic Codes zur automatisierten Berechnung der verschiedenen Fälle des Simulationsmodells .....	122

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche Bedeutung der Objekte in der Netzwerkmodellierung .....	6
Tabelle 2: Prozent der Destinationsüberlappung mit mehr als 3 Frequenzen pro Wochentag der Star Alliance an ausgewählten europäischen Flughäfen (2002) .....	26
Tabelle 3: Durchschnittliche Frequenz pro Woche der Deutschen Lufthansa pro Destination je Region (2009).....	31
Tabelle 4: Beispielhafte Kosten verschiedener direkter und indirekter Flugverbindungen auf Basis der Streckenkosten bei Verwendung desselben Flugzeugtyps exkl. Transferkosten für Passagiere.....	35

Tabelle 5: Unterschiede in Abschreibungskosten pro Blockstunde durch Reduktion der Bodenzeiten in zwei Szenarien .....	39
Tabelle 6: Grundlegende Marktsegmente des Luftverkehrs im Vergleich .....	46
Tabelle 7: Wert der Zeit nach verschiedenen Untersuchungen .....	47
Tabelle 8: Flugpreise von Wien direkt und über verschiedene Hubs nach Paris bei gemeinsamer und getrennter Buchung am 05.05.2010 .....	48
Tabelle 9: Darstellung der Lufthansa Flugfrequenzen von Prag nach Madrid über verschiedene Hubs .....	53
Tabelle 10: Anteil wesentlicher Airlines an den 15 größten Flughäfen in den Vereinigten Staaten .....	67
Tabelle 11: Preisniveau unterschiedlicher Ticketkategorien auf Hub- Verbindungen bei unterschiedlicher Marktmacht .....	68
Tabelle 12: Notwendigkeit der Freiheiten der Luft für die Etablierung verschiedener Netzwerktypen .....	71
Tabelle 13: Zusammenfassende Gegenüberstellung der Netzwerkarten in Bezug auf die verschiedenen Optimierungsfaktoren .....	73
Tabelle 14: Möglichkeiten zur Klassifikation des Hub Location Problems .....	77
Tabelle 15: Abbildung von im Multi-Hub Kontext diskutierten Faktoren im Modell.....	82
Tabelle 16: Im Simulationsmodell verwendete europäische Flughäfen .....	85
Tabelle 17: In der Simulation verwendete, abgestufte Inputparameter .....	90
Tabelle 18: Notwendige Parameterkonstellationen für maximales Routing über die Hubs im MH System bei niederen UPN.....	94
Tabelle 19: Anzahl der Fälle je Parameterwert (von 216), in denen bei MH Systemen der gesamte Verkehr über die Hubs geroutet wurde.....	96
Tabelle 20: In der Arbeit verwendete Wechselkurse .....	107
Tabelle 21: Parameterübersicht des Simulationsmodells.....	108
Tabelle 22: Transportaufkommen pro Jahr zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells .....	108
Tabelle 23: Transporterlöse pro Passagier zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells .....	108
Tabelle 24: Transportkosten pro Passagier zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells .....	109
Tabelle 25: Entfernungen zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells.....	109
Tabelle 26: Verwendete Excel Solver Einstellungen.....	110
Tabelle 27: Ergebnisse der Fälle des Simulationsmodells.....	120



**Abkürzungsverzeichnis**

ACI .....	Airports Council International
AEA .....	Association of European Airlines
ASK .....	Available Seat Kilometers (Angebotene Sitzkilometer)
ATC .....	Air Traffic Control (Flugverkehrskontrolle)
DV .....	Direktverbindungen
EDSS .....	Economies of Density, Scale und Scope
EU .....	Europäische Union
EZÜ .....	Einzahlungsüberschüsse
FCO .....	Flughafen Rom Fiumicino Leonardo da Vinci
FRA .....	Flughafen Frankfurt am Main
GE .....	Geldeinheiten
HLP .....	Hub Location Problem
HV .....	Hubverbindungen
IATA .....	International Air Transport Association
ICAO .....	International Civil Aviation Organization
ieS .....	im engeren Sinn
IFR .....	Instrument Flight Rules (Instrumentenflugregeln)
LHR .....	Flughafen London Heathrow
MAD .....	Flughafen Madrid Barajas
Max .....	Maximum
ME .....	Mengeneinheiten
MH .....	Multi-Hub
Min .....	Minimum
MUC .....	Flughafen München Franz Josef Strauß
NB .....	Nebenbedingung
P2P .....	Punkt-zu-Punkt
PAX .....	Passagiere
RPK .....	Revenue Passenger Kilometers (Verkaufte Sitzkilometer)
SARS .....	Severe Acute Respiratory Syndrome
SH .....	Single-Hub
UPN .....	Unterschiede im Preisniveau zw. direkter/indirekter Verbindung
WAW .....	Flughafen Warschau Frederic Chopin

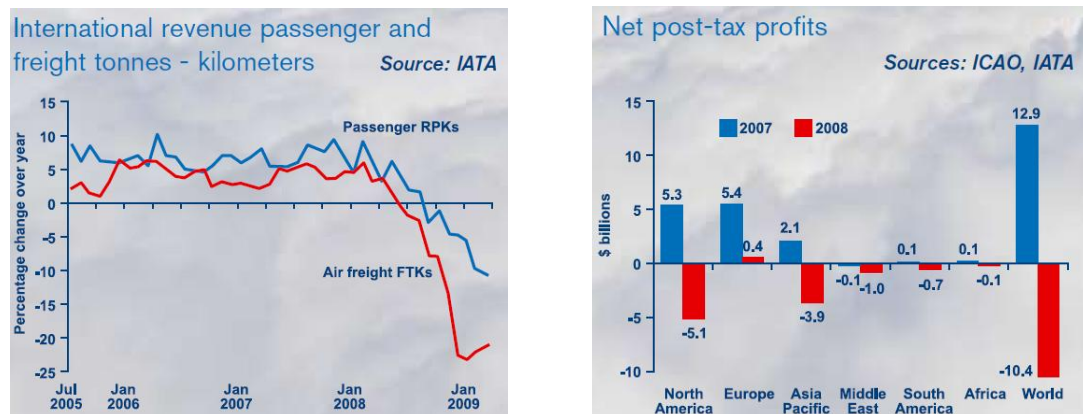
# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Relevanz

Die internationale Luftfahrt stellt in der heutigen Ökonomie nicht nur einen bedeutenden Wirtschaftszweig dar, sondern ist zugleich ein wesentlicher Motor der Globalisierung. Die wechselseitige Abhängigkeit von Erreichbarkeit und wirtschaftlichem Kontakt ist inhärent auch durch Fluglinien bestimmt.

Die Basis für die Tätigkeit einer Fluglinie stellt ihr Netzwerk dar. Dieses umfasst einerseits die angeflogenen Destinationen und andererseits Flugverbindungen, die diese miteinander verbinden. Das Netzwerk einer Airline ist für sie von zentraler strategischer und operationaler Bedeutung, nachdem von ihm die Profitabilität der Fluglinie abhängt. Dabei stellt das Netzwerk gleichzeitig den Produktionsplan und zumindest einen Teil des Produkts des Unternehmens Airline dar.

Der Luftverkehr befand sich während der letzten Jahre in starken ökonomischen Turbulenzen. Gleich mehrere Krisen – angefangen von den Terroranschlägen 2001 in New York über SARS und den Ölpreisschock, bis hin zur 2008 begonnenen Finanz- und Wirtschaftskrise – führten zu erheblichen Verlusten auf der Airlineseite. Die Probleme die Airlines dadurch entstanden, sind deutlich am Abfallen der verkauften Passagierkilometer und der Profitabilität ersichtlich (Vgl. Abbildung 1).



**Abbildung 1: Veränderung der verkauften Sitzkilometer (Juli 2005-Jänner 2009) und der Gewinne nach Steuern (2007/08) der IATA-Airlines<sup>1</sup>**

In der Abbildung ist sehr deutlich das Absacken der Profitabilität von 2007 auf 2008 ersichtlich. Aufgrund des daraus resultierenden starken Kostendrucks gilt es, auch die Netzwerke der Airlines als zentrale Kostentreiber näher zu analysieren.

<sup>1</sup> IATA (2009), S. 11ff

## ***1.2 Aufbau der Arbeit***

### **1.2.1 Problemstellung/Fragestellung**

In der Literatur und in den Medien werden immer wieder die grundlegenden Unterschiede in den Netztopologien zwischen Low-cost- und Netzwerkfluggesellschaften angeführt. So zeichnen sich auf der einen Seite Billigfluglinien meist durch ein Netz an Direktverbindungen ohne Umsteigerelationen aus. Auf der anderen Seite bieten die meisten Linienfluggesellschaften ihr Produkt als ein so genanntes Hub-and-Spoke Netzwerk an. Dabei handelt es sich um ein System, bei welchem der Passagier in der Regel ein oder zwei Transfers auf einem zentral gelegenen Umsteigeflughafen (Hub) in Kauf nehmen muss, um an sein Ziel zu gelangen. Gleichzeitig übersteigt das über diese Umsteigerelationen verkaufte Destinationenangebot der Netzwerkfluggesellschaften dasjenige der Billigfluggesellschaften deutlich.

Betrachtet man die Hub-and-Spoke Netzwerke der Netzwerkfluggesellschaften näher, so sind auch bei diesen Unterschiede feststellbar. Neben direkt, ohne Umsteigen angebotenen Flugzielen sind in den Netzwerken mancher Airlines auch mehrere Hubs zu erkennen. Für das Aufkommen derselben sind vor allem zwei Entwicklungen der letzten Jahre verantwortlich. Einerseits ist im europäischen Luftverkehr (neben anderen Verkehrsräumen) nach der Liberalisierung durch die Europäische Union eine deutliche Konzentrationstendenz zu erkennen. Nicht nur finden sich fast alle Netzwerkfluggesellschaften in der Zwischenzeit in einer Allianz wieder, sondern es kommt auch immer häufiger zu intra-europäischen Firmenübernahmen, auch aus Gründen der betriebswirtschaftlichen Optimierung. Durch die Übernahme zum Beispiel von Swiss durch Lufthansa übernahm diese gleichzeitig auch den Hub von Swiss in Zürich. Andererseits ist die europäische Luftfahrt immer mehr von Kapazitätslimits und Verspätungen geprägt. Diese ergeben sich insbesondere durch infrastrukturell bedingte Kapazitätsbeschränkungen, sowohl am Boden als auch in der Luft und regulatorischer Eingriffe von Staaten (neben Verspätungen bedingt durch zum Beispiel eigene unternehmenspolitische Entscheidungen der Airlines). Diese Kapazitätslimits führen ebenso zum erhöhten Auftreten von Multi-Hub Systemen.

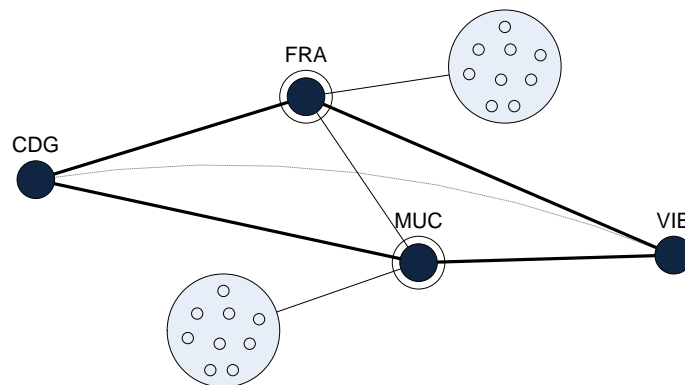
Zusammenfassend stellen Flugnetzwerke mit Multi-Hub Verbindungen ein praxisrelevantes Beispiel für die Untersuchung der betriebswirtschaftlichen Optimierung in mehrfachverbundenen Netzwerken dar. Die zunehmende Entwicklung zu wenigen Blöcken an Fluglinien, die mehrere Hubs betreiben, sowie der allgemein gegebene Kosten- und Erlösdruck der Flugbranche, führen damit zu den grundlegenden Forschungsfragen der Arbeit:

- Welche Einflussfaktoren sind für die betriebswirtschaftlich optimale Netzwerkentscheidung wesentlich?
- Welche Gestaltungsempfehlungen resultieren daraus für ein mehrfachverbundenes Multi-Hub Netzwerk im europäischen Luftverkehr?

### 1.2.2 Zielsetzung und Abgrenzung

Ziel der Arbeit ist es folglich, ein besseres Verständnis für die Entstehung von Multi-Hub Netzwerken zu gewinnen. Damit im Zusammenhang steht die Untersuchung, ob sich Airlines auch unter einer allein betriebswirtschaftlichen Gewinnüberlegung für ein Multi-Hub System entscheiden würden. Die Analyse soll dabei insbesondere Einblick in die in der europäischen Diskussion wichtigen Faktoren bei Multi-Hub Netzwerken mit geographisch nahe beieinander liegenden Hubs liefern.

Der Fokus der Untersuchung liegt auf der Analyse von mehrfachangeordneten Destinationen im innereuropäischen Streckennetz. Eine betrachtete Multi-Hub Konstellation stellt damit zum Beispiel die Anbindung von Wien (VIE) an Paris (CDG) sowohl über den Hub Frankfurt (FRA) als auch den Hub München (MUC) dar (Vgl. Abbildung 2).

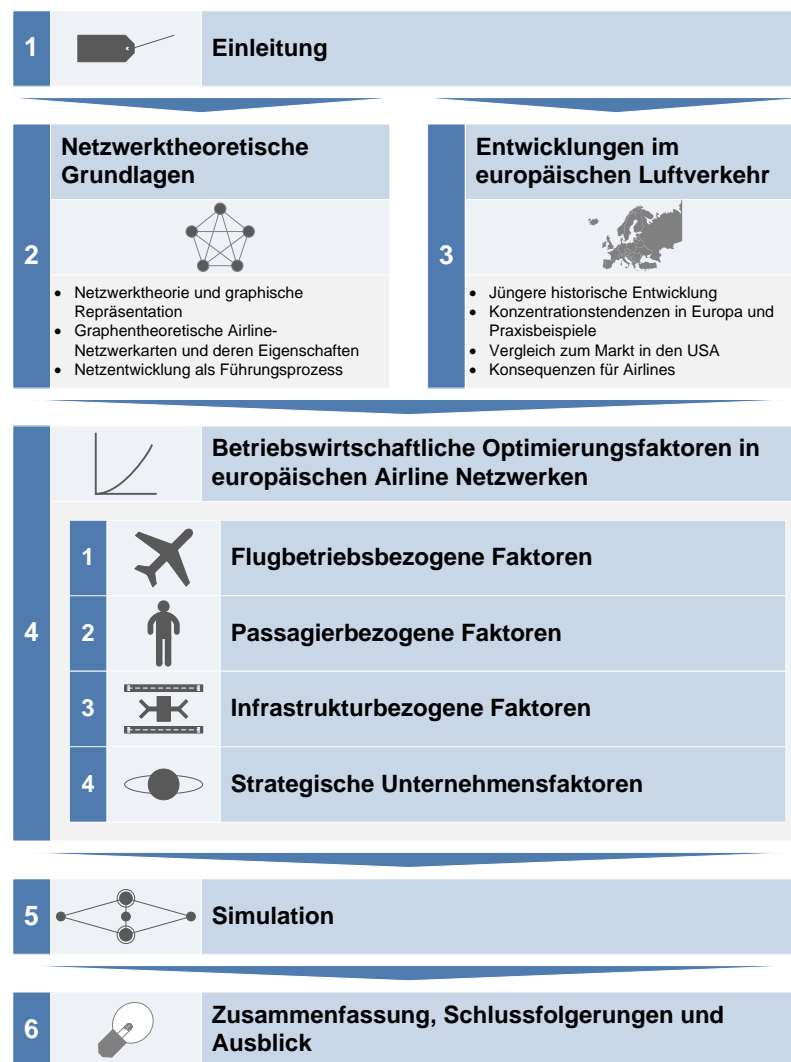


**Abbildung 2: Schematischer Graph eines Beispiels von betrachteten Relationen von Destinationen in einem Multi-Hub Netzwerk**

Dabei stellt sich die Frage, ob eine solche doppelte Anbindung mit den damit verbundenen Faktoren im Vergleich zu den Alternativen sinnvoll ist. Alleine eine kapazitätsmäßige Betrachtung macht eine diesbezügliche Analyse bereits interessant – mit der Arbeit sollen aber auch noch weitere Entscheidungskriterien im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Optimierung aufgezeigt und beispielhaft simuliert werden, um so die Wirtschaftlichkeit von Multi-Hub Netzwerken zu untersuchen und herauszustellen.

### 1.2.3 Aufbau der Arbeit und Methodik

Die Arbeit gliedert sich, wie in Abbildung 3 dargestellt, in mehrere Teile:

Abbildung 3: Aufbau der Arbeit<sup>2</sup>

**2&3** Der Einleitung folgend werden in zwei Abschnitten einerseits die netzwerktheoretischen Grundlagen und andererseits die Entwicklungen im europäischen Luftverkehr aufgearbeitet. Diese dienen als Basis für die darauf aufbauende Analyse des Themenfeldes.

**4** Als zentraler Teil der Arbeit werden die verschiedenen betriebswirtschaftlichen Optimierungsfaktoren europäischer Airline Netzwerke diskutiert. Dabei werden die einzelnen Faktoren im Detail erläutert.

Im Zuge dieser Diskussion erfolgt eine vergleichende Analyse der einzelnen Faktoren in Hinblick auf Punkt-zu-Punkt, Single- und Multi-Hub Netzwerke. Diese Diskussion wird unter besonderer Berücksichtigung und Herausarbeitung der für Multi-Hub Netzwerke entscheidenden Faktoren geführt.

<sup>2</sup> Eigene Darstellung

**5** Die wesentlichen Faktoren zur Bestimmung der betriebswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit eines Multi-Hub Systems werden im Weiteren in ein Simulationsmodell integriert. Dieses wird auf Basis von in der Literatur vorgeschlagenen quantitativen Modellen zur Netzwerkgestaltung erstellt und dient der Untersuchung der Auswirkung der speziellen Eigenschaften von mehrfachverbundenen Multi-Hub Topologien auf die Netzwerkgestaltung im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Optimierung.

Unterschiedliche Faktorkonstellationen sollen in ihren Wirkungen auf ein beispielhaftes Netzwerk untersucht werden. Auf Basis eines begrenzten, exemplarischen, aber doch repräsentativen Realitätsausschnittes soll damit die Vorteilhaftigkeit eines Multi-Hub Netzwerkes bei multipler Anbindung von Destinationen simuliert und geprüft werden.

**6** Abschließend werden die Ergebnisse aus Theorie und Simulation zusammengefasst und Schlussfolgerungen basierend auf den eingangs festgelegten Forschungsfragen formuliert. Darüber hinaus wird ein Ausblick gegeben.

## 2 Netzwerktheoretische Grundlagen



In der Folge soll zunächst auf jene netzwerktheoretischen Grundlagen näher eingegangen werden, die für das Verständnis der späteren Diskussion notwendig sind.

### 2.1 Netzwerktheorie und graphische Repräsentationsformen

Die Netzwerktheorie fußt sehr stark auf der Graphentheorie. Bei der Graphentheorie handelt es sich um eine erst in der jüngeren Vergangenheit entstandene wissenschaftliche Disziplin. Initial wurde sie zwar 1736 von Euler verwendet, die erste systematische Darstellung wurde aber erst 1936 von König, einem ungarischen Mathematiker, publiziert. Popularität erlangte die Graphentheorie insbesondere im Computerzeitalter, da die neue Technologie die Berechnung von wesentlich komplexeren Modellen ermöglichte. Ein wichtiges Anwendungsgebiet stellen dabei Netzwerke und im Speziellen Transportnetzwerke dar.<sup>3</sup>

Basis für die Modellierung von Netzwerken bilden so genannte Graphen, die aus drei verschiedenen grundlegenden Elementen erstellt werden. Diese sind Kanten, Knoten und Gewichte<sup>4</sup>. Je nach Anwendungsbereich des Netzwerkes können diese die verschiedensten Bedeutungen haben:<sup>5</sup>

Relation	Knoten	Kanten	Gewichte
Physisch	Orte	Verkehrswege	Distanzen
Logisch	Partner	Güterflüsse	Flüsse
Hierarchisch	Objekte	Ordnung	Mengen
Zeitlich	Zustände	Übergänge	Zeit

**Tabelle 1: Mögliche Bedeutung der Objekte in der Netzwerkmodellierung<sup>6</sup>**

Formal gesehen können Graphen sowohl ungerichtet als auch gerichtet sein. Wesentliche Begriffe sowie das Verständnis von einem **ungerichteten** Graph seien mit der folgenden Definition erklärt:

„Ein ungerichteter Graph  $G = (V, E, I)$  ist ein Tripel von Mengen  $V$  (der Menge der Knoten (“vertices“, “nodes“)),  $E$  (der Menge der Kanten (“edges“)) und  $I$  (der Inzidenzrelation) mit den Eigenschaften

1)  $I \subseteq V \times E$  (ist  $(v, e) \in I$  für  $v \in V$ , so heißen  $v$  und  $e$  inzident)

2) jede Kante  $e \in E$  ist zu höchstens zwei Knoten aus  $V$  inzident:

$$\bigwedge_{e \in E} |(V \times \{e\}) \cap I| \in \{1, 2\}.$$

Das Zeichen  $\bigwedge$  bezeichnet dabei den Logikquantor “Für alle“.

<sup>3</sup> Vgl. Nägler/Stopp (1996), S. 9

<sup>4</sup> Auch „Bewertung“ genannt, s.u.

<sup>5</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 5

<sup>6</sup> Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 5

Sind die Knotenmengen  $V = V(G)$  und die Kantenmenge  $E = E(G)$  des Graphen  $G$  endlich, so heißt  $G$  endlicher Graph.<sup>7</sup>

Sind zwei Knoten mittels einer Kante verbunden, so werden sie als **adjazent** bezeichnet und sind damit auch gleichzeitig Nachbarn. Ein Knoten ohne jegliche Nachbarn ist isoliert. Vollständigkeit ist gegeben, „wenn es mit je zwei verschiedenen Knoten  $i$  und  $j$  auch die Kante  $(i, j)$  enthält, d.h. jeder Knoten ist durch Kanten mit allen anderen Knoten verbunden.“<sup>8</sup> Die Knotenmenge wird meist mit  $V = \{1, 2, \dots, n\}$  bezeichnet.<sup>9</sup> Ein beispielhafter ungerichteter und vollständiger Graph sei mit der folgenden Graphik veranschaulicht:

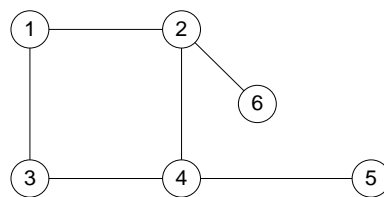


Abbildung 4: Beispielhafter, ungerichteter und vollständiger Graph<sup>10</sup>

In einem Netzwerk wird ein **Weg** als eine Folge von mit Kanten verbundenen Knoten verstanden, die von einem Anfangs- zu einem Endknoten führt und dabei keine Wiederholungen enthält. Ein **Pfad** darf im Gegensatz dazu Wiederholungen von Knoten enthalten. Die Darstellung kann sowohl als eine Folge von Knoten, als auch eine Folge von Kanten erfolgen. Ist ein Weg zwischen zwei Knoten  $u$  und  $v$  vorhanden, so ist  $v$  von  $u$  aus **erreichbar**. Gilt dies für alle möglichen Knotenpaare, so ist der Graph überdies **zusammenhängend**. Sind hingegen nicht alle erreichbar, so sind damit verschiedene **Zusammenhangskomponenten** gegeben.<sup>11</sup>

Aus der Definition des ungerichteten Graphen ergibt sich die Definition des direkten, welcher auch als **Digraph** bezeichnet wird:<sup>12</sup>

„[...] Der Unterschied liegt darin, daß für die Kanten das Paar der Endknoten jetzt gerichtet, d.h. geordnet statt wie vorher ungeordnet ist. Die Richtung wird durch  $\rightarrow$  gekennzeichnet:  $u \xrightarrow{e} v$  ist von  $u$  nach  $v$  gerichtet,  $u$  ist der Start- und  $v$  der Endknoten der Kante  $e$ .“<sup>13</sup>

In der Darstellung werden die gerichteten Kanten deshalb mit Pfeilen versehen und schriftlich durch eine eckige Klammer  $[u, v]$  von den ungerichteten Kanten unterschieden. Es besteht damit auch ein direkter Zusammenhang zwischen gerichteten und

<sup>7</sup> Brandstädt (1994), S. 12

<sup>8</sup> Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 12

<sup>9</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 12

<sup>10</sup> Eigene Darstellung

<sup>11</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 12ff

<sup>12</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 15

<sup>13</sup> Brandstädt (1994), S. 16



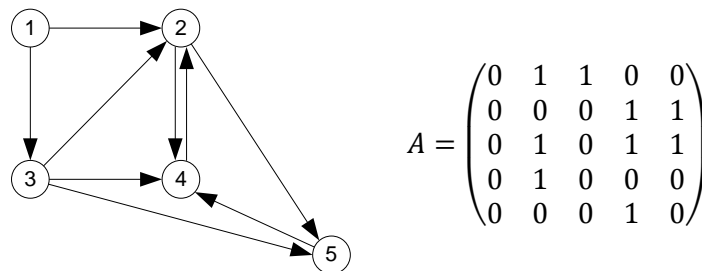
ungerichteten Graphen. Ist ein gerichteter Graph vollständig symmetrisch, sodass es für je zwei Knoten  $u$  und  $v$  stets zwei gerichtete Kanten  $[u, v]$  und  $[v, u]$  gibt, so ist damit ein ungerichteter Graph gegeben.<sup>14</sup> Somit sind auch ungerichtete von gerichteten Wegen zu unterscheiden, die in der Folge stark (gerichtete Wege) oder schwach (ungerichtete Wege) zusammenhängende Graphen ergeben.<sup>15</sup>

Werden die Knoten oder (gerichteten) Kanten eines Graphen **bewertet**, so wird dieser als **Netzwerk** oder auch Netz bezeichnet. Dabei gibt es verschiedenste Möglichkeiten der Bewertung. Sehr häufig sind z.B. transportierte Mengen auf den Bögen eines Graphen dargestellt.<sup>16</sup> Mit Hilfe eines Netzwerks lassen sich somit die verschiedensten Probleme mittels unterschiedlicher Algorithmen lösen.<sup>17</sup> Mathematisch bedeutet **bewertet**, dass „jeder Kante  $(i, j)$  (bzw.  $[i, j]$ ) eine Zahl  $d_{ij}$  zugeordnet ist.“<sup>18</sup>

Graphen lassen sich mit der Hilfe von Matrizen beschreiben. Eine Matrix hat allgemein  $m$  Spalten und  $n$  Zeilen und somit in Summe  $m * n$  Elemente.<sup>19</sup> Jene Matrix die einen Graphen und seine Kanten beschreibt, wird als Adjazenzmatrix bezeichnet, wobei lediglich Graphen abgebildet werden können, die weder parallele Kanten  $[u, v]$  noch Schleifen  $[u, u]$  beinhalten dürfen.<sup>20</sup> Damit kann eine Adjazenzmatrix wie folgt definiert werden:

„ $A = (a_{ij})$  heißt **Adjazenzmatrix** des Graphen, wenn  $a_{ij} = 1$  gilt, falls ein Bogen von  $x_i$  nach  $x_j$  führt, und  $a_{ij} = 0$  sonst gilt.“<sup>21</sup>

Ein Beispiel für einen Graphen und dessen zugehörige Adjazenzmatrix ist das folgende:



**Abbildung 5: Beispielgraph und dessen Adjazenzmatrix<sup>22</sup>**

Immer dann, wenn eine Kante von einem Knoten zum anderen führt, ist in der dem Graph entsprechenden Adjazenzmatrix eine „1“ angegeben. Die Adjazenzmatrix wäre

<sup>14</sup> Vgl. Nögler/Stopp (1996), S. 30

<sup>15</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 16

<sup>16</sup> Vgl. Nögler/Stopp (1996), S. 79

<sup>17</sup> Vgl. Nögler/Stopp (1996), S. 79ff

<sup>18</sup> Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 17

<sup>19</sup> Vgl. Nögler/Stopp (1996), S. 16

<sup>20</sup> Diese Graphen werden als „schlichte Graphen“ bezeichnet. Vgl. Nögler/Stopp (1996), S. 16

<sup>21</sup> Nögler/Stopp (1996), S. 16, Hervorhebung in Fett dargestellt

<sup>22</sup> Nögler/Stopp (1996), S. 16

im Falle eines ungerichteten Graphen symmetrisch.<sup>23</sup> Bei Netzwerken lassen sich die Bewertungen in die Matrixdarstellung aufnehmen.

Der Vorteil von Netzwerken liegt in der Logistik insbesondere darin, dass ihre Kostenstruktur einen subadditiven Charakter aufweist. Die Kosten des Anschlusses eines neuen Knoten an das Netzwerk sinken mit der Anzahl der Knoten im Netzwerk, da die durchschnittliche Entfernung zum nächsten Knoten sinkt. Diese Eigenschaft ist sowohl für landgebundene, meist planare Netzwerke, als auch für luftgestützte von Relevanz, wie in der Folge noch näher erläutert wird. Der Nutzenzuwachs aufgrund der Anzahl der Knoten wird als eine **Netzwerkexternalität** gesehen.<sup>24</sup>

## 2.2 Graphentheoretische Airline-Netzwerkarten und deren Eigenschaften

Wie bereits kurz angesprochen sind Airline-Netzwerke, abgesehen von bestimmten technischen Grenzen, in der Gestaltung unabhängig von landbedingten Faktoren. Ist ein Flughafen (in der notwendigen Größe) vorhanden, so kann von ihm aus jeder beliebige andere Flughafen innerhalb einer vom Flugzeug abhängigen Reichweite erreicht werden.<sup>25</sup> In der Praxis sind vor allem zwei grundlegende Arten von Airline-Netzwerken zu unterscheiden. Zum einen sind dies Punkt-zu-Punkt Netzwerke und zum anderen Hub-Netzwerke<sup>26</sup>. Daneben existieren noch Mischformen. Auf die zwei „reinen“ Varianten soll in der Folge näher eingegangen werden.

### 2.2.1 Punkt-zu-Punkt Netzwerke

Bei einem Punkt-zu-Punkt-Netzwerk<sup>27</sup> erfolgt die Verbindung zwischen einem Knoten (Flughafen) und dem anderen direkt, ohne jegliche Umsteigerelation. Für ein vollständiges Netzwerk bestehend aus fünf Flughäfen ergibt sich damit folgendes Bild:

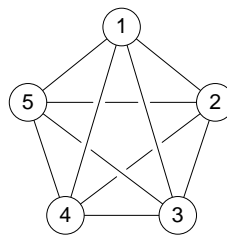


Abbildung 6: Punkt-zu-Punkt Netzwerk mit fünf Knoten (Flughäfen)<sup>28</sup>

<sup>23</sup> Vgl. Nägler/Stopp (1996), S. 30

<sup>24</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 10ff

<sup>25</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 193

<sup>26</sup> Im Luftverkehr hat sich aufgrund seiner Internationalität Englisch als die dominierende Sprache durchgesetzt. Dementsprechend sind der Großteil des Fachvokabulars englischsprachige Wörter. Aus Gründen der Kohärenz und Konsistenz soll deshalb in dieser Arbeit auf diese zurückgegriffen und auf eine Übersetzung, wo nicht notwendig, verzichtet werden.

<sup>27</sup> Vahrenkamp und Mattfeld verwenden den Begriff „Netzwerk-Layout“. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 197

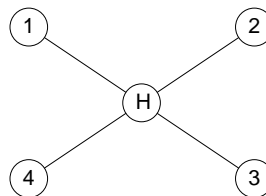
<sup>28</sup> Eigene Darstellung

Aufgrund der direkten Anbindungen in einem Punkt-zu-Punkt-Netzwerk sind eine hohe Anzahl an Verbindungen nötig, um ein vollständiges Netzwerk im Sinne der Definition in Abschnitt 2.1 zu schaffen.

Transportleistungen werden bei Punkt-zu-Punktverbindungen immer nur zwischen zwei direkt verbundenen Städten angeboten. Vom Anbieter der Transportdienstleistungen selbst erfolgt keine Hilfestellung für den Transport via einem anderen Flughafen. Würde beispielsweise in Abbildung 6 keine direkte Verbindung zwischen (3)<sup>29</sup> und (5) existieren, so müsste sich ein Kunde bei der Verwendung der Relationen (3) → (4) und (4) → (5) gegebenenfalls selbst um den Transfer/das Umsteigen am Knoten (4) kümmern. Dies steht im starken Gegensatz zu den im nächsten Teil beschriebenen Hub-Netzwerken.<sup>30</sup>

### 2.2.2 Hub-and-Spoke-Netzwerke inklusive Arten

Bei Hub-and-Spoke-Netzwerken<sup>31</sup> handelt es sich um ein Netzwerk, in dem es zwei verschiedene Arten von Knoten gibt. Der zentrale Knoten des Netzwerks wird dabei als Hub (Nabe) und die ihm untergeordneten Knoten als Spokes (Speichen) bezeichnet. Bei Verbindungen zwischen zwei Spokes handelt es sich nunmehr um Umsteigerelationen, die einen Transfer (am Flughafen) inkludieren.<sup>32</sup> Dies sei mit Abbildung 7 veranschaulicht:



**Abbildung 7: Beispielhafte Darstellung eines Hub-Netzwerkes mit fünf Knoten<sup>33</sup>**

Knoten (1) – (4) sind Spokes und Knoten (H) stellt den Hub dar. Eine Verbindung von (1) nach (2) erfordert ein Umsteigen im Hub (H). Die wesentlichsten durch einen Hub auftretenden Effekte sind deshalb die Multiplikator- und Konzentrationswirkung desselben. Über den Hub ist jede Stadt im Netz mit jeder verbunden. Dies ergibt insgesamt für das obige, einfache Beispiel  $3 * 4 = 12$  Verbindungen. Rechnet man den Hub mit, so sind es insgesamt  $3 * 4 + 2 * 4 = 20$  Relationen, wobei im Vergleich zum Punkt-zu-Punkt-Netzwerk lediglich vier Städtepaare miteinander dafür verbunden werden müssen. Damit steigt die Anzahl der möglichen Relationen wesentlich stärker als die dafür benötigten Flugzeuge (**Multiplikatorwirkung**).<sup>34</sup>

<sup>29</sup> In der Folge werden Knoten mit der hier verwendeten Darstellungsform referenziert.

<sup>30</sup> Vgl. dazu auch Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 197

<sup>31</sup> Auch einfach als Hub-Netzwerke oder im Deutschen als Nabe-und-Speiche-Netzwerke bezeichnet. Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 195

<sup>32</sup> Vgl. Pompl (2007), S. 168

<sup>33</sup> Eigene Darstellung

<sup>34</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 195

Eine erweiterte Form des Grundmodells stellt die Kombination mehrerer Hubs in einem Netzwerk dar. So wird in vielen Logistiknetzwerken und Transportketten zwischen einem Vor-, einem Haupt- und einem Nachlauf unterschieden.<sup>35</sup> Grundlegend bei dieser Form ist, dass eine Fernverbindung zwischen zwei großen Hubs abgewickelt wird, wie in Abbildung 8 dargestellt:

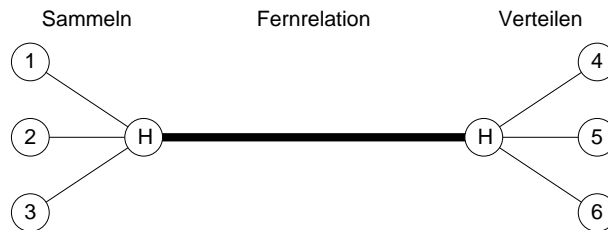


Abbildung 8: Hub-Netzwerk mit Bündelungseffekten zwischen zwei großen Hubs<sup>36</sup>

Das Besondere dieser Hub-Netzwerke ist, dass für den Transport zwischen den zwei Hubs große Langstreckenflugzeuge eingesetzt werden können und damit hohe Bündelungseffekte gegeben sind, welche auch als **Konzentrationseffekt** bzw. **Economies of Density** bezeichnet werden. Die Entfernung zwischen den zwei Hubs ist dabei meistens entsprechend groß. Für die Bündelung und damit das Zubringen zu den Hubs werden kleinere Flugzeuge eingesetzt.<sup>37</sup>

Im Falle der Verwendung eines Hubs lassen sich zwei verschiedene Arten von Hub-Netzwerken unterscheiden. Zum einen ist dies der Typus des Sanduhr- und zum anderen jener des Hinterland-Hubs.<sup>38</sup> Beide seien exemplarisch in Abbildung 9 veranschaulicht:

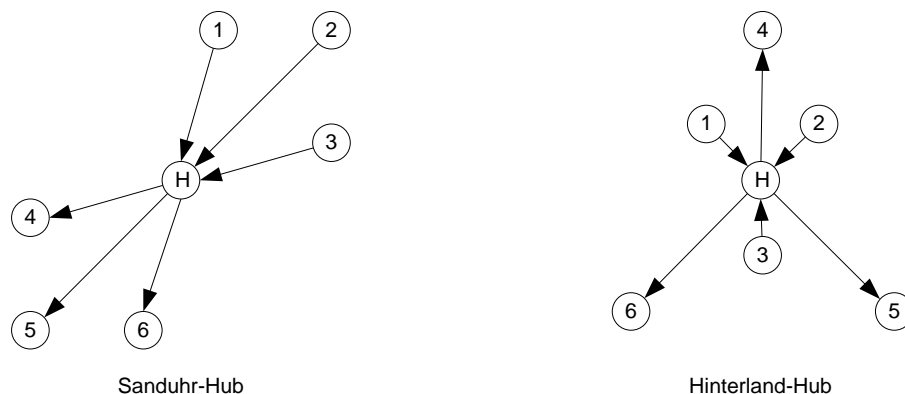


Abbildung 9: Sanduhr- und Hinterland-Hubs im Vergleich<sup>39</sup>

<sup>35</sup> Vgl. Gleissner/Femerling (2008), S. 68

<sup>36</sup> Eigene Darstellung

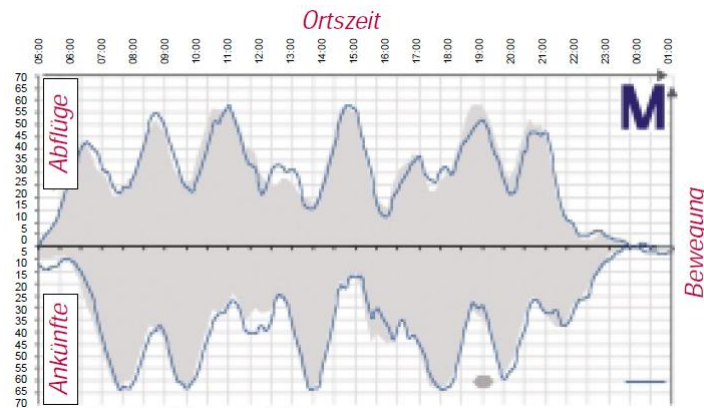
<sup>37</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 193ff

<sup>38</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 198

<sup>39</sup> Nach Mayer (2001), S. 13

Ein Sanduhr-Hub sammelt dabei Flüge aus einer Richtung und verteilt diese in die andere geographische Richtung. Ein Hinterland-Hub wiederum sammelt mittels Kurzstreckenverbindungen Passagiere, um diese auf Langstreckenverbindungen zu verteilen.<sup>40</sup> Vahrenkamp und Mattfeld sehen bei einem Hinterland-Hub lediglich eine Verteilungsfunktion im selben Gebiet.<sup>41</sup>

Hubs werden sehr häufig in der Form von Wellensystemen<sup>42</sup> organisiert, um das Umsteigen am Hub für die Passagiere zu erleichtern. Bei Wellensystemen werden die An- und Abflüge am Hub in mehrere Phasen eingeteilt, sodass zwischen den Ankünften einer Welle und den Abflügen einer Phase (Welle) für die Passagiere genügend Zeit zum Umsteigen bleibt, jedoch der Transfer von Passagierströmen trotzdem zügig von statten geht. Die Wellenbildung von Airlines zeigt auf den Flughäfen ein deutliches Profil. Beispielhaft sind in der folgenden Grafik die Wellen von Lufthansa am Flughafen München dargestellt:



**Abbildung 10: Verkehrsspitzen von Lufthansa am Flughafen München (2005)<sup>43</sup>**

Im Falle einer nicht sehr hohen Anzahl an Flügen, hat das Wellenlayout den Vorteil, dass Passagieren ausreichend Transfermöglichkeiten geboten werden. In den USA sind sehr oft 7 bis 13 Wellen üblich. In Europa wird Frankfurt beispielsweise mit sechs und München mit acht Wellen betrieben.<sup>44</sup> Mit London Heathrow existiert in Europa beispielsweise ein Hub, auf dem keine ersichtlichen Wellen vorhanden sind. Aufgrund der Dichte des Verkehrs steht trotzdem kontinuierlich eine gewisse Zahl an An- und Abflügen zur Verfügung.<sup>45</sup> Ein wesentlicher Nachteil des Wellensystems liegt in der Kon-

<sup>40</sup> Vgl. Pompl (2007), S. 168

<sup>41</sup> Vgl. Vahrenkamp/Mattfeld (2007), S. 198

<sup>42</sup> Die Wellen werden auch beispielsweise mit Konten oder englisch mit Waves bzw. Schedule bank bezeichnet. Vgl. Maurer, S. 394

<sup>43</sup> Vgl. Travel One (2005), S. 7. Bei einer maximalen Anzahl von 89 Flugbewegungen pro Stunde am Flughafen München ist in der hier gewählten (und häufig ähnlich verwendeten) Darstellungsform die y-Achse des Diagramms zu hinterfragen. Werte von an die 60 Abflüge können nicht auf einen spezifischen Zeitpunkt abstellen, weshalb die einzelnen Balken der Abbildung voraussichtlich auf andere Zeiträume bezogen sind. Die Grafik gibt dennoch einen guten Eindruck von den am Münchner Flughafen auftretenden Wellen.

<sup>44</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 394ff

<sup>45</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 76

zentration von vielen Flügen in einer kurzen Zeitspanne. Dies führt dazu, dass Flughafenkapazitäten in verschiedensten Bereichen dementsprechend intensiv genutzt werden.<sup>46</sup>

Alles in allem werden Hub-Netzwerken in der Literatur mehrere Vorteile und Nachteile gegenüber Punkt-zu-Punkt-Netzwerken zugesprochen. Die für die Diskussion von Multi-Hub Netzwerken wesentlichen, werden in Abschnitt 4 näher analysiert.

### 2.3 Netzentwicklung als Führungsprozess

Aus den obigen Ausführungen wurde die Bedeutung des Netzwerkes für eine Fluggesellschaft ersichtlich. Deshalb handelt es sich bei der Netzentwicklung in einer Airline um einen wesentlichen Führungsprozess.

Dieser setzt sich aus drei generischen Phasen zusammen. Auf eine anfängliche Willensbildung folgt die Willensdurchsetzung und schließlich die Willenssicherung. Jede Phase enthält entsprechende Detailaktivitäten, die mit folgender Grafik veranschaulicht werden sollen:

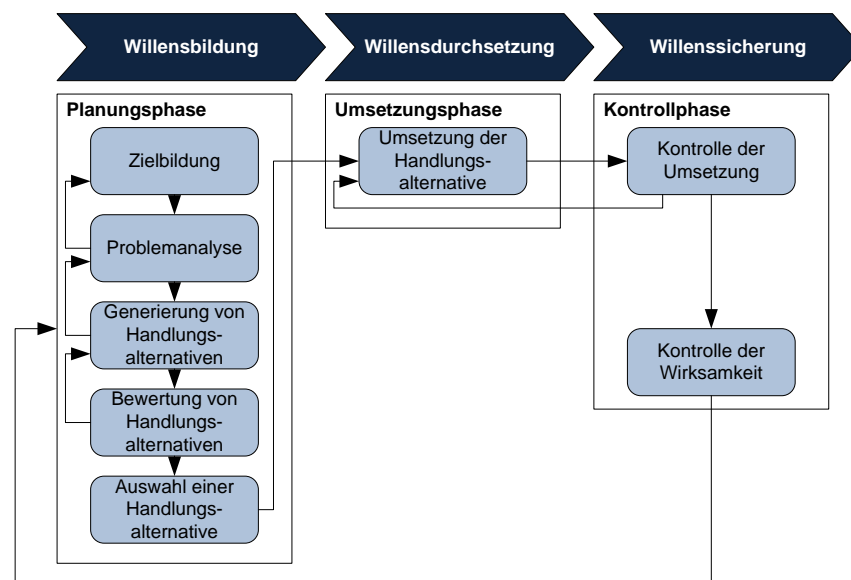


Abbildung 11: Darstellung des Führungsprozesses der Netzentwicklung<sup>47</sup>

Im Rahmen der Planungsphase gilt es unter den gegebenen Zielsetzungen Handlungsalternativen auszuwählen, die in der Folgephase umgesetzt werden. Dazu werden zunächst Ziele gebildet, die als Grundlage für die Problemanalyse dienen. Auf Basis einer Ist-Analyse werden die Abweichungen zu Soll-Zuständen identifiziert und daraus mögliche Handlungsoptionen zur späteren Auswahl festgelegt. Die damit möglichen Maßnahmen beachten sowohl notwendige Strukturen als auch Ressourcen. Mit der Abschätzung der Konsequenzen jeder Alternative kann schließlich eine Auswahl der aktuell am

<sup>46</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 396

<sup>47</sup> Eigene Darstellung nach Jacquemin (2006), S. 74

besten geeigneten Handlungsalternative erfolgen. Je mehr Alternativen zu bewerten und je mehr Ziele zu berücksichtigen sind, desto komplexer wird der Bewertungs- und Entscheidungsprozess für eine Option. Sind zur Durchführung eines Schrittes zu wenige Informationen vorhanden, so sollte zum vorhergehenden Schritt zurückkehrt werden, um die entsprechenden Informationen einzuholen. Die in der Willensbildung gewählte Alternative wird anschließend umgesetzt. Dabei wird die Kombination aus Strukturen und Ressourcen im Produktionssystem festgehalten. Darauf folgt die Phase der Kontrolle, in der die Umsetzung entsprechend der Erwartung und der Wirksamkeit der umgesetzten Handlungsalternative überwacht wird. Hierbei erfolgt insbesondere eine Überwachung von Abweichungen, die als Basis für Änderungen im nächsten Zyklus dienen.<sup>48</sup>

Analog zu Jacquemin wird diese Arbeit auf den Planungsprozess beschränkt. Dabei erfolgt die Analyse des spezifischen Ausschnitts des Produktionsmodells, also des Netzwerks einer Fluggesellschaft. Auch beschränkt sich diese Arbeit hauptsächlich auf die Analyse der Struktur.<sup>49</sup>

---

<sup>48</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 74ff

<sup>49</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 77

### 3 Entwicklungen im europäischen Luftverkehr – hin zu Multi-Hub Netzwerken



Im folgenden Kapitel soll auf mehrere Entwicklungen in der europäischen Luftfahrt eingegangen werden.

#### 3.1 Jüngere historische Entwicklung

Die Entwicklung des Luftverkehrs und damit der Netzstrukturen der Airlines war in der Vergangenheit und ist immer noch maßgeblich durch regulative Eingriffe von mehreren Seiten betroffen. Anhand von zwei Dimensionen lassen sich vier verschiedene, wesentliche Eingriffsarten unterscheiden:

	Staat	Unternehmen
Bi-lateral	Luftverkehrsabkommen zwischen zwei Staaten	Abkommen zwischen den nationalen Fluggesellschaften (z.B. Poolvereinbarungen)
Multi-lateral	Verträge zwischen mehreren Staaten (z.B. Chicago-Abkommen, EU-Verträge)	IATA-Vereinbarungen

**Abbildung 12: Regulierungsinstrumente im internationalen Luftverkehr<sup>50</sup>**

Sowohl auf der staatlichen als auch auf der unternehmerischen Ebene existieren Regelungen, welche die Rahmenbedingungen des Wettbewerbs festlegen. Dabei existieren bilaterale und multilaterale Verträge, die im Weiteren näher beschrieben werden. Veränderungen in diesen Rahmenbestimmungen haben insgesamt große Auswirkungen auf die Luftfahrt und damit indirekt auf die Netzwerke der Airlines.

Im Jahre 1944 wurde mit den Regeln der „Chicago Convention“<sup>51</sup> auf multilateraler Ebene ein Umfeld geschaffen, welches die Lufthoheit und die Entscheidung über die planmäßige Linientätigkeit von Airlines vollständig in die Entscheidungsmacht der unterzeichnenden Staaten legt.<sup>52</sup> Damit wurde der Luftverkehr zwischen zwei Staaten an bilaterale Abkommen<sup>53</sup> geknüpft. In diesen wurden unter anderem die Anzahl der Flüge, die Kapazitäten und die erlaubten Fluggesellschaften festgelegt. Gelistet konnten nur solche Airlines werden, die mehrheitlich im Besitz oder in der Kontrolle von Staatsbür-

<sup>50</sup> Eigene Darstellung nach Wiezorek (1998), S. 43

<sup>51</sup> In Kraft getreten ist das mit dem Namen „Convention on International Civil Aviation“ bezeichnete Abkommen im Jahre 1947. Im Jahre 1998 hatten 183 Staaten das Abkommen unterzeichnet. Vgl. Wiezorek (1998), S. 44

<sup>52</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 44f. Neben dem Chicago Abkommen wurden 1944 auch noch eine Transit- und eine Transport-Vereinbarung getroffen. Erstere wurde von über 100 Staaten unterzeichnet und räumt das Recht auf Überflug ein. Letztere wurde nur von wenigen Staaten akzeptiert und räumt den beigetretenen die ersten fünf Freiheiten der Luft ein. Vgl. Wiezorek (1998), S. 45f

<sup>53</sup> Im Jahr 2009 waren es weltweit ca. 3.500 bilaterale Abkommen, die den Weltluftverkehr regelten. Vgl. IATA (2009), S. 30



gern des betreffenden Landes waren. Damit verbunden führten viele Länder maximale Beteiligungslimits für Ausländer an „ihren“ nationalen Fluggesellschaften ein.<sup>54</sup>

Aufbauend auf diesem strikten „Post-Chicago-Umfeld“ war die Deregulierung des Airline-Marktes in Europa in den 1980er und 90er Jahren ein weiterer wesentlicher Entwicklungsschub. Wenngleich international weitgehend noch die Chicago-Bestimmungen gelten, haben Airlines innerhalb der EU<sup>55</sup> nunmehr sogar das Recht auf Kabotage, also auf die Bedienung von Strecken in einem anderen EU-Land.<sup>56</sup> Darüber hinaus wurden durch die EU alle Kapazitäts- und praktisch alle Preisbeschränkungen abgeschafft und die Eigentumseinschränkungen gelockert.<sup>57</sup> Schließlich erfolgte 2008 zwischen den Vereinigten Staaten von Amerika und der Europäischen Union die Einigung auf die „Open Aviation Area“, welche den Flugverkehr zwischen den beiden Kontinenten zu einem gewissen Teil dereguliert.<sup>58</sup> Die Deregulierung der Luftfahrt hatte dabei auch direkte Auswirkungen auf die Netzwerke der Fluggesellschaften.<sup>59</sup>

Die Gründe für die Deregulierung und Liberalisierung des Luftverkehrs waren auf beiden Seiten des Atlantiks dieselben. Man erhoffte sich, dass sich damit die wirtschaftliche Entwicklung verbessern, insgesamt mehr Markteffizienz einkehren und sich damit die Produktivität bei höherer Effizienz und geringeren Preisen verbessern würde.<sup>60</sup>

Darüber hinausgehend war ein weiterer wesentlicher Entwicklungsschub die Durchführung von Privatisierungen im Luftfahrtbereich, welche mit der Liberalisierung einherging. Nichtsdestotrotz blieben viele der vormals staatlichen Fluggesellschaften in innerstaatlicher Hand und bauten die Präsenz auf ihren Hubs zunächst weiter aus.<sup>61</sup> Dies änderte sich mit den nachfolgenden, weiter unten beschriebenen ökonomischen Spannungen.

Im unternehmerischen Bereich zählen vor allem die Verträge der International Air Transport Association (IATA)<sup>62</sup> zu den für den Luftfahrtwettbewerb wesentlichen. Als internationale Organisation stellt die IATA ihren Mitgliedern darüber hinaus eine Vielzahl von Services zur Verfügung, wie zum Beispiel die Bereitstellung eines Clearing Hauses oder die Ermöglichung der gegenseitigen Anerkennung von Tickets. Im Zuge

---

<sup>54</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 6

<sup>55</sup> Der Luftverkehrsbinnenmarkt wurde innerhalb der EU mit drei Verordnungen umgesetzt. Neben Verordnung 2407/92 (Harmonisierung der Zulassung zum Beruf) und Verordnung 2409/92 (Liberalisierung der Tarife) schaffte vor allem Verordnung 2408/92 (Freiheit des Zugangs zum Markt) ab 01.04.1997 den Zugang zu allen Strecken innerhalb der EU für alle EU-Fluglinien. Vgl. Europäisches Parlament (2000), <http://www.europarl.europa.eu>

<sup>56</sup> Im Luftverkehr spricht man von den acht Freiheiten der Luft, welche jene Rechte regeln, die eine bestimmte Airline, aus einem bestimmten Staat kommend, in Bezug auf das Hoheitsgebiet eines anderen Staates hat. Diese wurden und werden grundsätzlich in den bilateralen, aus der Chicago Convention resultierenden Verträgen geregelt. Vgl. Wiezorek (1998), S. 44

<sup>57</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 8

<sup>58</sup> Vgl. Pels (2008), S. 69

<sup>59</sup> Vgl. Mayer (2001), S. 34

<sup>60</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 1f

<sup>61</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 8

<sup>62</sup> Im Jahr 2009 hatte die IATA weltweit 224 Mitglieder. Vgl. IATA (2009), S. 23

von IATA-Konferenzen wird jährlich über die Zuweisung von Slots<sup>63</sup> entschieden.<sup>64</sup> Von hoher Bedeutung sind die Tarifkonferenzen, die kartellmäßig Referenztarife für verschiedene Verbindungen festlegen. Sich daran orientierende Tarife ermöglichen in der Regel aufgrund gleicher Beförderungsbestimmungen die Benützung verschiedener IATA Airlines auf den Verbindungen. Davon abweichende Tarife sind daher mit hohen Einschränkungen verbunden.<sup>65</sup> Während die IATA-Regelungen in den 1950er und 60er Jahren noch verpflichtend und zwanghaft waren, erhöhte sich in den 1970er Jahren der politische Druck vor allem von wettbewerbspolitischer Seite und führte schließlich 1978 zu einer Reform der IATA, die Verpflichtungen und Einstimmigkeit abschwächte. Die IATA-Preise bilden nunmehr im Prinzip nur mehr das Limit am oberen Ende des Spektrums der Flexibilität des Wechsels und Umbuchens zwischen verschiedenen Airlines.<sup>66</sup>

Insgesamt führte die Deregulierung und Privatisierung zu einem stärkeren Wettbewerb, der aber von Problemen in den Gesamtwirtschaften begleitet wurde. Damit erschwerte sich das ökonomische Klima im internationalen Luftverkehr der jüngeren Vergangenheit zunehmend. Über Jahrzehnte ging man von der Annahme eines sich ungebremsst vergrößernden Marktes aus. Nach den Terroranschlägen des 11. September 2001, SARS und der Wirtschafts- und Finanzkrise nach 2008, hat sich diese Erwartungshaltung relativiert. Der Luftverkehrsmarkt wird zwar noch als grundsätzlich wachsend, jedoch gleichzeitig als immer häufiger von Krisen geprägt eingeschätzt. Als Folge stellen sich die Airlines international und in Europa auf das neue Wettbewerbsklima ein, wie im folgenden Teil der Arbeit näher behandelt.<sup>67</sup>

### ***3.2 Konzentrationstendenzen in Europa***

Das im vorangegangenen Abschnitt angesprochene „rauere Klima“ in der Luftfahrtbranche hatte zur Folge, dass Airlines immer stärker versuchten und immer noch versuchen, ihre Wettbewerbsposition abzusichern und auszubauen. Viele haben dabei eingesehen, dass man alleine nicht mehr existieren kann. Deshalb versuchen sie zunehmend, ihre Präsenz mit der Hilfe von Konsolidierung durch Übernahmen, Allianzen aber auch Franchising und Code-Sharing auszubauen.<sup>68</sup> In der Folge soll auf die zwei wesentlichsten dieser Konzentrationsentwicklungen, Allianzen und Übernahmen, näher eingegangen werden, wobei die dadurch inhärent gegebene Entwicklung hin zu Multi-Hub Systemen aufgezeigt werden soll. Allianzen und Übernahmen unterscheiden sich dabei dadurch, dass bei Übernahmen eine einzelne rechtliche Entität am Ende als Eigentümer übrig bleibt.<sup>69</sup>

---

<sup>63</sup> Slots stellen Zeitfenster auf Flughäfen dar, die die Landerechte auf kapazitätsbeschränkten Flughäfen bestimmen. Vgl. Wiezorek (1998), S. 59

<sup>64</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 57f

<sup>65</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 59f

<sup>66</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 61f

<sup>67</sup> Vgl. Dennis (2005), S. 176

<sup>68</sup> Vgl. Dennis (2005), S. 176f

<sup>69</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 21

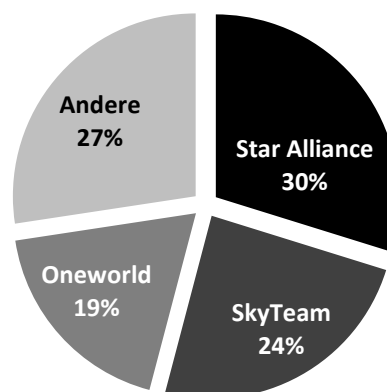
### 3.2.1 Allianzen

Im Luftverkehr stellt eine Allianz eine wirtschaftliche Beziehung zwischen mindestens drei Airlines dar, die nach IATA vor allem drei Eigenschaften hat:<sup>70</sup>

- Ein gemeinsames/identifizierbares Produkt wird unter einer Marke oder einem Namen beworben.
- Die Marke/der Name wird durch die teilnehmenden Airlines/deren Agenten beworben.
- Die Marke/der Name wird allgemein verwendet, um Services der beteiligten Airlines zu identifizieren.

Allianzen sind dabei keineswegs homogen und direkt identifizierbar. Vielmehr haben sie grundsätzlich einen internationalen Charakter und sind in ihrer Form global aufgestellt. Die Kooperation kann die verschiedensten Formen des gegenseitigen Austausches von Code-Share Abkommen bis hin zu gegenseitigen Minderheitsbeteiligungen annehmen.<sup>71</sup> Neben kostenmäßigen Einsparungen ermöglichen Allianzen den Zugang zu neuen Märkten und (unter anderem damit) Wachstum. Das Angebot an Destinationen lässt sich mit dem Beitritt zu einer Allianz deutlich vergrößern und den Passagieren gleichzeitig ein einfacheres Reisen ermöglichen.<sup>72</sup>

Die Liberalisierung des Luftverkehrs in den Vereinigten Staaten von Amerika und der EU in Kombination mit Open-Skies Abkommen waren wesentliche Katalysatoren der Allianzformierung.<sup>73</sup> Weltweit haben sich bislang drei Allianzen etabliert. Diese sind Star Alliance, SkyTeam und Oneworld. Jede der Allianzen ist um zentrale Fluggesellschaften gestaltet und versucht eine möglichst hohe und optimierte Marktabdeckung zu erreichen. Für 2005 ergaben sich damit die in Abbildung 13 dargestellten Marktanteile:



**Abbildung 13: Marktanteile der Allianzen 2008 (nach Passagieren)<sup>74</sup>**

<sup>70</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 2

<sup>71</sup> Vgl. Pels (2001), S. 4

<sup>72</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 4f

<sup>73</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 12

<sup>74</sup> Eigene Darstellung nach Star Alliance (2009), S. 11

Mit der Darstellung wird deutlich, dass 2005 mehr als die Hälfte der weltweit produzierten und verkauften Passagierkilometer (RPK) auf eine Airline in einer Allianz fielen. Diese Tendenz ist immer noch steigend. Damit ist der Marktanteil von Allianzen sehr hoch, während jener von einzelnen Fluggesellschaften eher klein ist.<sup>75</sup>

Allianzen zählen damit sicherlich zu einer der wesentlichsten Entwicklungen im internationalen Luftverkehr der letzten Jahre. Im Rahmen einer Allianz arbeiten mehrere Airlinepartner zusammen, um das Netzwerkangebot innerhalb der Allianz zu optimieren. Damit kann Kunden ein viel weitreichenderes Angebot in Bezug auf mögliche Verbindungen gemacht werden. Die Zusammenarbeit geht über eine reine Netzwerkabstimmung und das Scheduling hinaus. In Allianzen koordinieren die Teilnehmer beispielsweise Marketing- und Vielfliegerprogramme, schaffen gemeinsame Infrastrukturen und kaufen gemeinsam ein.<sup>76</sup> Nichtsdestotrotz steht die Schaffung eines gemeinsamen, gut abgestimmten und möglichst großen Netzwerks im Mittelpunkt der Aufgaben einer Allianz.<sup>77</sup>

Zur Koordination der Netzwerke in einer Allianz zählt deshalb in zentraler Art und Weise auch die Abstimmung der verschiedenen Hubs der Mitglieder aufeinander. Jede Airline betreibt im Normalfall bereits mindestens einen solchen und diese gilt es im Rahmen der Allianzpolitik im Flugplan aufeinander abzustimmen. Deshalb sind es Hubs, als wesentliche Knotenpunkte der verschiedenen Airlines, welche effizient miteinander verbunden werden müssen.<sup>78</sup> Die Airlines einer Allianz betreiben also gemeinsam ein großes Multi-Hub System. Alles in allem haben sich deshalb auch Allianzen und deren Mitglieder mit der Fragestellung mehrerer Hubs zu befassen.

### 3.2.2 Übernahmen/ Merger

Die letzten Jahre waren auch von einer Vielzahl von Übernahmen<sup>79</sup> im Luftfahrtbereich gekennzeichnet. Dies war nicht immer so. Lange Zeit waren Übernahmen in vielen Bereichen der Luftfahrt aufgrund regulatorischer Bestimmungen nicht möglich. So haben vor allem Nationalklauseln in diesen Regulativen Übernahmen und Konsolidierungsprozesse lange Zeit verhindert. Allianzen bildeten zunächst die Möglichkeit, dieses Rahmenwerk so weit als möglich zu umgehen.<sup>80</sup>

Erste Übernahmen fanden deshalb auf nationalstaatlicher Ebene statt<sup>81</sup> und hatten das Ziel, die Position einer nationalen Airline im internationalen (und damit auch europäischen) Umfeld zu stärken. Von zwischenstaatlichen Merger wurde aufgrund der Sorge um die Aufrechterhaltung der Gültigkeit von zwischenstaatlichen Luftverkehrsabkommen, die an die wirtschaftliche Kontrolle von Staatsbürgern der betreffenden Nation

---

<sup>75</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 38

<sup>76</sup> Vgl. Dennis (2005), S. 175

<sup>77</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 3

<sup>78</sup> Vgl. Malighetti et al. (2008), S. 54 sowie z.B. Air France KLM (2009), S. 17

<sup>79</sup> In der Folge wird der Begriff „Übernahme“ synonym mit „Merger“ verstanden und nicht immer doppelt angeführt.

<sup>80</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 5f sowie auch Abschnitt 3.1, „Jüngere historische Entwicklung“

<sup>81</sup> Erwähnt seien an dieser Stelle die Übernahmen von UTA und Air Inter durch Air France in Frankreich und jene von British Caledonian durch British Airways in Großbritannien. Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 11

gebunden sind, weiterhin Abstand genommen.<sup>82</sup> Teilweise wurden sie jedoch zunehmend durch die oben beschriebenen Liberalisierungstendenzen erleichtert und zum Teil mit speziellen rechtlichen Konstruktionen zu umgehen versucht. Trotz wirtschaftlich bestimmenden Einfluss blieben daher die direkten Kapitalanteile der übernehmenden Gesellschaft häufig knapp unter der 50%-Grenze.<sup>83</sup>

Neben der nach der europäischen Deregulierung besseren rechtlichen Möglichkeit von Übernahmen führte auch das problematische wirtschaftliche Umfeld nach der Jahrtausendwende, welches viele Airlines in die (Beinahe-)Insolvenz führte, zu vermehrten gegenseitigen Käufen von Fluglinien.

Während man Ende der 1990er Jahre noch davon ausging, dass bereits mit einer Allianz Einsparungen in der Höhe von 70-80% der Synergien eines kompletten Mergers erzielt werden können, fällt die aktuelle Betrachtung nüchterner aus. Allianzen schafften es zwar, das Angebot zu erweitern, erhebliche operationale Synergien konnten mit ihnen jedoch (noch) nicht erzielt werden. Zu einem Teil könnte dies darin begründet sein, dass kleine Fluglinien sich in einer Allianz großen Fluggesellschaften nicht vollständig „ausliefern“ wollen.<sup>84</sup> Auf der anderen Seite wollen große Fluggesellschaften eventuell nicht alle Größenvorteile an ihre allianzinternen Mitbewerber weitergeben. Im Gegensatz dazu ermöglichen es Übernahmen effektive Synergieeffekte zu lukrieren und dabei auf aufwändige Abstimmungsrunden verzichten zu können.<sup>85</sup> Die erhöhte Geschwindigkeit mit der in den letzten Jahren Übernahmen, vor allem im europäischen Bereich stattfinden, könnte auch in dem Sinne interpretiert werden, dass Allianzen nicht das vollständige Konsolidierungspotential ausnützen, insbesondere in Bezug auf Netzwerke.<sup>86</sup> Mit dem Vorteil der Möglichkeit der Kontrolle und der Vorgabe der Strategie ist es mit Übernahmen deshalb einfacher, das Netzwerk eines Verbundes umzugestalten.

Aufgrund bestehender rechtlicher Rahmenbedingungen bleibt es jedoch unwahrscheinlich, dass Übernahmen vollständig an die Stelle von Allianzen treten werden. Dies gilt insbesondere für transkontinentale Verbindungen. Nichtsdestotrotz werden nach Iatrou und Oretti Übernahmen voraussichtlich innerhalb abgesteckter geographischer Gebiete (z.B. in der Europäischen Union) und unter Mitgliedern derselben Allianz in Zukunft wahrscheinlich noch zunehmen.<sup>87</sup> Diese Zunahme hatte auch Wietzorek bereits vorhergesehen.<sup>88</sup>

Die Entwicklung zu mehr Übernahmen im Luftfahrtbereich führt dazu, dass die übernehmenden Fluglinien mit der Situation konfrontiert sind, dass sie nach der Übernahme mehr als einen Hub in ihrem Netzwerk vorfinden. Nach der Übernahme können sie zwei Optionen ergreifen: Entweder sie strukturieren die grundlegende Hub-Konfiguration ihres Netzwerks um und reduzieren zum Beispiel die Hubanzahl oder sie erhalten diese

---

<sup>82</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 11

<sup>83</sup> Vgl. Wietzorek (1998), S. 337

<sup>84</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 20

<sup>85</sup> Vgl. Wietzorek (1998), S. 341

<sup>86</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 58

<sup>87</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 57f

<sup>88</sup> Vgl. Wietzorek (1998), S. 341

und optimieren lediglich das Netzwerk um diese herum. In jedem Fall haben sie sich mit dem Problem eines Multi-Hub Netzwerks auseinanderzusetzen.

### 3.3 Praxisbeispiele

Im folgenden Teil der Arbeit soll auf zwei Praxisbeispiele eingegangen werden, die sehr gut verdeutlichen, wie Mergers und Übernahmen Airlines zu einer Multi-Hub Strategie führen. Dabei soll auch klar werden, dass es in der Praxis selbst in einem liberalisierten innereuropäischen Luftraum, nicht immer ausschließlich im Ermessensspielraum einer Airline liegt, welche konkrete Hub-Netzwerkstrategie sie verfolgt.

#### 3.3.1 Lufthansa Übernahmen der letzten Jahre

Ab dem Jahr 2000 tätigte Lufthansa eine Reihe von Übernahmen. Der Prozess zur ersten wesentlichen Übernahme nach der Jahrtausendwende begann 2005 mit dem schrittweisen Kauf von Swiss International Airlines. Swiss wurde als eigenständige Marke in die Lufthansa-Gruppe integriert und dem Flughafen Zürich eine faire Entwicklungsmöglichkeit zuerkannt. Durch die Übernahme musste Lufthansa mit Zürich einen weiteren primären Hub neben Frankfurt und München in ihr Streckennetz integrieren.<sup>89</sup>

Mit 30. Juni 2009 übernahm Lufthansa des weiteren Brussels Airlines mit ihrer Basis Brüssel, wobei 2009 45% der Aktien übernommen wurden und für 2011 eine Option zum Kauf der weiteren 55% besteht. Am 1. Juli 2009 folgte kurz darauf die Übernahme von bmi British Midland.<sup>90</sup> Vor allem mit Brüssel kam ein weiterer Hub in das Gruppennetzwerk hinzu.

Ende 2009 (Konsolidierung seit dem 3. September 2009<sup>91</sup>) wurde zudem Austrian Airlines übernommen. Dieser Kauf war der Höhepunkt einer bereits langen Tradition der Kooperation zwischen den zwei Airlines. Seit dem Jahr 2000 ist Austrian Airlines einerseits Mitglied der Star Alliance und andererseits besteht mit Lufthansa ein gemeinsames Joint Venture für alle Routen zwischen Österreich und Deutschland. Lufthansa sieht in der Übernahme die Chance, die strukturellen Defizite von Austrian Airlines ausgleichen zu können und somit vom Kauf zu profitieren.<sup>92</sup> Die Übernahme reiht gleichzeitig den Austrian Airlines Hub Wien in die bereits im Lufthansa-Verbund bestehenden Hubs ein.<sup>93</sup>

Mit jedem Zukauf hat die Lufthansa Gruppe somit ihr Einzugsgebiet vergrößert. Jeder Hub einer neuen Airline liegt in einem wirtschaftlich bedeutenden Gebiet.<sup>94</sup> Trotzdem steht am Ende der bisherigen Übernahmen ein Gruppennetzwerk, welches über zumindest fünf größere Hubs verfügt, welche alle zu koordinieren sind. Dessen ist sich auch

---

<sup>89</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 56f

<sup>90</sup> Vgl. Lufthansa (2010), S. 57f

<sup>91</sup> Vgl. Lufthansa (2010), S. 58

<sup>92</sup> Vgl. Lufthansa (2009), S. 2ff

<sup>93</sup> Vgl. Lufthansa (2009), S. 6

<sup>94</sup> Vgl. Garnadt (2008), S. 17. Diese stellen im Gegensatz zu British Airways mit London und Air France mit Paris jedoch keine Hub-Platzierungen in einem global bedeutenden Mega-Ballungsraum dar. Vgl. Garnadt (2008), S. 16

Lufthansa bewusst und öffentlicher Bekanntmachungen entsprechend will sie diese Multi-Hub Strategie bei entsprechender Koordination fortsetzen.<sup>95</sup>

### 3.3.2 Air France-KLM Merger

Im Oktober 2003 finalisierten die beiden vormals staatlichen Fluggesellschaften Air France und KLM ihren Merger und gründeten mit Air France-KLM die zu diesem Zeitpunkt viertgrößte Fluggesellschaft weltweit, nach der Flottengröße gemessen.<sup>96</sup> Bei der Übernahme wurde garantiert, dass mit den Betreibergesellschaften beide Airlines zunächst noch getrennt, mit ihrem eigenen Hub und Management arbeiten werden.<sup>97</sup> Weiters hat sich die niederländische Regierung bei der Übernahme zusichern lassen, dass das neue Unternehmen noch mindestens 10 Jahre ihre Services am Flughafen Amsterdam betreiben wird.<sup>98</sup> Um die Probleme der bilateralen Luftverkehrsabkommen insbesondere vis à vis den USA zu umgehen, hat sich der niederländische Staat für eine Dauer von 8 Jahren die Mehrheit der Stimmrechte abgesichert. Bis zum Ende dieser Frist sollte dann bereits ein Abkommen zwischen der EU und den Vereinigten Staaten bezüglich eines gemeinsamen Luftraums bestehen.<sup>99</sup> Dies ist in der Zwischenzeit eingetreten.<sup>100</sup> In der Konzernstrategie von 2009 hält die Gruppe weiterhin am dualen Hub-System fest und sieht dieses darüber hinaus als Vorteil im Wettbewerb.<sup>101</sup>

## 3.4 Vergleich zum Markt in den USA

Auch der Luftverkehrsmarkt in den Vereinigten Staaten war lange Zeit strengen Regulativen unterworfen – der Civil Aeronautic Act führte 1938 strenge Bestimmungen inklusive Tariffkontrollen in die Luftfahrt ein.<sup>102</sup> Erst im Jahr 1978 wurde der Deregulierungsakt unterzeichnet und der Luftraum somit frei. Eine Folge der Deregulierung in den Vereinigten Staaten war, dass Airlines ihr Netzwerk nach Optimalitätskriterien bestimmen konnten und nicht mehr an rechtliche Schranken gebunden waren. Die profitmaximalen Strukturen waren dabei meist auf dem Hub-and-Spoke Konzept basierend.<sup>103</sup> So wurden Hub-and-Spoke Netzwerke von praktisch allen Netzwerkfluggesellschaften etabliert, wobei sich die Zulieferer Routen über die gesamte USA erstreckten.<sup>104</sup>

Der US-Markt, der vor 1978 sehr stark lokal orientiert war und deren internationaler Verkehr vor allem von zwei Fluggesellschaften (Pan Am und TWA) getragen wurde, unterzog sich nach der Liberalisierung einer starken Konzentrationsbestrebung. Diese hinterließ zunächst sechs dominierende Airlines, die ihren Verkehr über zentrale Hubs,

---

<sup>95</sup> Vgl. Garnadt (2008), S. 4ff

<sup>96</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 52

<sup>97</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 52f

<sup>98</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 16

<sup>99</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 53

<sup>100</sup> Dieses Open Skies Abkommen trat schließlich Anfang 2008 in Kraft. Europäische Luftverkehrsgesellschaften dürfen nunmehr von jedem Flughafen in der Europäischen Union zu jedem beliebigen Flughafen in den Vereinigten Staaten fliegen. Vgl. EU (2008), S. 1

<sup>101</sup> Vgl. Air France KLM (2009), S. 16

<sup>102</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 64

<sup>103</sup> Vgl. Pels (2008), S. 69

<sup>104</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 7f

auch abseits natürlicher Ballungsräume<sup>105</sup> lenkten.<sup>106</sup> Praktisch alle US-amerikanischen Airlines etablierten im Laufe der Jahre mehrere Hubs, meist drei oder vier.<sup>107</sup> Ebenfalls eng mit der Deregulierung verknüpft war das Aufkommen der Low-cost Airlines in den USA. Daneben versuchten verschiedene US-Airlines starke Expansionsstrategien international umzusetzen. Nachdem diesen Entwicklungen die bilateralen Abkommen entgegenstanden, engagierten sich die US-amerikanischen Behörden zunehmend in der Umsetzung von Open-Skies<sup>108</sup> Abkommen.<sup>109</sup> In Bezug auf Europa wurden diese Bestrebungen von US-amerikanischer Seite insbesondere dadurch gestärkt, dass durch die Schaffung des Gesamteuropäischen Flugraums vormals internationale, für US-Fluggesellschaften damit oft erlaubte Verbindungen nunmehr zu Routen wurden, die unter die nicht genehmigte Kabotage-Regelung fielen.<sup>110</sup>

Alles in allem ziehen Studien zur US-amerikanischen Liberalisierung eine positive Bilanz. Sowohl die Gesamtwohlfahrt, als auch die Industriegewinne stiegen durch die gesetzten Maßnahmen. Die der anfänglichen Konkurrenz entgegenstehenden Konsolidierungsschritte zeigen allerdings ein negativeres Bild, welches auch das Ausnützen von Marktmacht beinhaltet.<sup>111</sup> Mit der Liberalisierung stiegen sowohl die Konzentration in der Luftfahrtindustrie selbst auch die Konzentration auf einzelnen Hub-Flughäfen individuell.<sup>112</sup> Insgesamt dürften die Effekte für die Passagiere dennoch positiv gewesen sein.<sup>113</sup>

### 3.5 Konsequenzen für Airlines

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass das Streckennetz einer Airline und das Wahrnehmen strategischer Optionen im Sinne von Allianzen und Übernahmen eng miteinander verbunden sind.<sup>114</sup> Beides gilt es gemeinsam zu betrachten und zu analysieren. Jedenfalls ist festzuhalten, dass mit der vermehrten Allianzbildung und den darüber hinaus gehenden Übernahmen im weltweiten, aber vor allem europäischen Wirtschaftsraum eine vermehrte Bildung von Konstellationen zustande kommt, in denen mehr als ein Hub bei der Netzwerkplanung berücksichtigt werden muss. Hierbei handelt es sich sowohl um Netzwerke mit geographisch eng beieinander als auch weit entfernten Hubs.

Der betriebswirtschaftlich optimalen Netzwerkgestaltung sind oft durch Regulative und Verträge enge Grenzen gesetzt. Fakt ist, dass immer mehr Airlines sich in einem Multi-Hub System wiederfinden und es gilt, dieses innerhalb der möglichen Grenzen zu opti-

---

<sup>105</sup> So entstanden Hubs z.B. in Charlotte, Cincinnati und Pittsburgh. Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 10

<sup>106</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 10

<sup>107</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 68f

<sup>108</sup> Open-Skies Abkommen stellen Abkommen zur Liberalisierung des Luftverkehrs zwischen mehreren Staaten dar. Neben dem Abkommen mit der EU und bilateralen Abkommen haben die USA ein weiteres multilaterales Open-Skies Abkommen mit Neuseeland, Brunei, Chile, Samoa, Tonga und der Mongolei abgeschlossen. Vgl. US DoS (2010), <http://www.state.gov>

<sup>109</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 7

<sup>110</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 12

<sup>111</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 66

<sup>112</sup> Vgl. Wiezorek (1998), S. 78ff

<sup>113</sup> Vgl. Pels (2001), S. 3

<sup>114</sup> Vgl. Mayer (2001), S. 34f



mieren. Für andere Airlines, die noch nicht durch Umfeldfaktoren zu einem Multi-Hub-Netzwerk gezwungen sind, stellt sich die Frage, ob es vielleicht sinnvoll ist, ein solches zu etablieren.

## 4 Betriebswirtschaftliche Optimierungsfaktoren in europäischen Airline Netzwerken – ein Vergleich von Punkt-zu-Punkt, Single- und Multi-Hub Netzwerken



Airline-Netzwerke können in drei wesentlichen Erscheinungsformen, Punkt-zu-Punkt, Single- und Multi-Hub Netzwerke, eingeteilt werden. Auf die Diskussion in den vorangegangenen Abschnitten aufbauend, soll deshalb in diesem Abschnitt eine Analyse verschiedener betriebswirtschaftlicher Optimierungsfaktoren erfolgen und dabei die Vorteilhaftigkeit verschiedener Netzwerkarten in Abhängigkeit des betrachteten Faktors ausgearbeitet werden. Dazu wurden die in der Literatur genannten, wesentlichsten Faktoren aufgegriffen, womit nicht alle möglichen Aspekte Eingang in die Darstellung finden konnten. Insbesondere soll also die Eignung eines Multi-Hub Systems aus einer Airline-bezogenen Perspektive näher beleuchtet werden.

Es erfolgt zunächst eine Abgrenzung des Themenfeldes – insbesondere für die Multi-Hub Perspektive – inklusive der wesentlichsten Begriffserklärungen. Im Anschluss daran wird auf verschiedenste Optimierungsfaktoren, eingeteilt in vier Kategorien, eingegangen.

### 4.1 Abgrenzung

Sind in einem Netzwerk nicht nur ein Hub sondern mehrere Hubs vorhanden, spricht man von einem **Multi-Hub-Netzwerk**. Folglich definiert Pompl ein solches wenn eine Airline „über mehrere, miteinander verbundene Hub-Flughäfen“<sup>115</sup> verfügt. In einer weiteren, von Wojahn stammenden Definition, wird nicht nur auf die Anzahl von Hubs, sondern auch auf das Stattfinden von Transfers Wert gelegt: „[...] We will call a network configuration a multi-hub network if and only if it contains at least two real hubs. At real hubs, passengers make transfers; [...]“<sup>116</sup> Dementsprechend wird in der Arbeit ein Multi-Hub Netzwerk als *ein Netzwerk mit mehr als einem Hub verstanden, an denen Passagiere zwischen Flügen umsteigen können*. Es sei an dieser Stelle betont, dass diese Definition die konkrete Auslegung des Netzwerkes und die Beziehungen zwischen den einzelnen Hubs offen lässt.<sup>117</sup>

Verschiedene Hubs im selben Netzwerk können entweder aufgrund geographischer oder zeitlicher Differenzierung Vorteile bringen. In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Hubs sich in geographischer Nähe befinden und somit davon abhängige Argumentationsstränge wegfallen.<sup>118</sup> Verschiedene Hubs mit geographischer Spezialisierung werden in der Literatur als ein möglicher Grund für ein Multi-Hub Netzwerk gesehen.<sup>119</sup> Unter

<sup>115</sup> Pompl (2007), S. 168

<sup>116</sup> Wojahn (2001), S. 269; Hervorhebungen entfernt

<sup>117</sup> In dieser Arbeit soll auf die von Jäggi (2000, S. 233ff) durchgeführte Unterscheidung von Dual- und Multi-Hubs verzichtet werden. Diese Arbeit zielt auf eine Erörterung der Faktoren für Netzwerkstrategien *mit mehr als einem Hub* ab, weshalb die von Jäggi zur Differenzierung hervorgehobenen Argumente im Rahmen der einzelnen Faktoren diskutiert werden.

<sup>118</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 83

<sup>119</sup> Vgl. Düdden (2006), S. 423

dieser Annahme sind die in Abbildung 8 dargestellten Inter-Hub-Verbindungen nicht Teil der hier geführten Diskussion. Es wird davon ausgegangen, dass bei innereuropäischen Verbindungen lediglich ein einmaliges Umsteigen auf den Hubs erforderlich ist. Für Langstreckenentfernungen kann es durchaus möglich sein, dass zur Erreichung der finalen Destination ein weiteres Umsteigen an einem entfernten Hub schließlich hinzu kommt – dieses wird aber aus dem Fokus dieser Arbeit ausgeklammert. Die Einschränkung der Arbeit entspricht durchaus der Praxis, wie durch die Darstellungen in Abschnitt 3.3 gezeigt wurde, und liefert durch ihren Fokus praxisrelevante Ansätze.<sup>120</sup>

Die hier durchgeführte Analyse bezieht sich zudem in erster Linie auf jene Multi-Hub Netzwerke, in denen eine redundante und mehrfache Anbindung von Spokes an alle Hubs des Netzwerks erfolgt. Dies ist für die Praxis keine realitätsfremde Annahme, wie Tabelle 2 entnommen werden kann.<sup>121</sup> Der Fall ohne eine mehrfache Anbindung findet jedoch implizit auch Eingang in die Diskussion dieses Teils der Arbeit.

Prozent der Destinationen von Flughafen X ...	... die auch von Flughafen Y erreichbar sind.						
	Frankfurt	München	Kopenhagen	Stockholm	Wien	London LHR	Düsseldorf
Frankfurt	n/a	67,7%	32,3%	13,8%	40,0%	23,1%	29,2%
München	89,8%	n/a	38,8%	14,3%	42,9%	24,5%	36,7%
Wien	86,7%	70,0%	56,7%	26,7%	n/a	40,0%	50,0%

**Tabelle 2: Prozent der Destinationsüberlappung mit mehr als 3 Frequenzen pro Wochentag der Star Alliance an ausgewählten europäischen Flughäfen (2002)**<sup>122</sup>

In obiger Tabelle sind die sehr hohen Überschneidungsgrade von häufig angeflogenen Destinationen im europäischen Streckennetz der Star Alliance ersichtlich. So zeigt sich beispielsweise bei den von Star Alliance aus Frankfurt angeflogenen Destinationen, dass rund zwei Drittel der Ziele auch von München aus mit Star Alliance erreichbar sind. Zwar sind diese Werte Allianz-bezogen angegeben, jedoch dürften sie auch ein starker Indikator für eine einzelne Airline wie zum Beispiel Lufthansa mit Hubs in Frankfurt und München, sein. Würde eine geographische Spezialisierung erfolgen und Destinationen nicht doppelt angebunden werden, so könnten manche Destinationen von Passagieren nicht mehr durch einfaches Umsteigen erreicht werden.

Im Weiteren wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass die Vorteile eines Multi-Hub Systems durch die Airline auch lukrierbar sind, indem die Airline mit einer Marke nach außen hin auftritt und es somit für die Netzwerk- und Schedulingentscheidung irrelevant ist, welches Flugzeug zu welchem Hub fliegt. In der Praxis ist dies jedoch durch die unterschiedlichen Flotten zum Beispiel bei Air France und KLM oder Lufthansa und Swiss nicht gegeben. Damit können Flugzeuge nicht beliebig für andere Rou-

<sup>120</sup> Vgl. Düdden (2006), S. 422. An dieser Stelle sei jedoch erwähnt, dass in den Vereinigten Staaten keine geographisch nah beieinanderliegenden Hubs vorhanden sind.

<sup>121</sup> Vgl. dazu auch Dennis (2005), S. 179

<sup>122</sup> Eigene Darstellung nach Dennis (2005), S. 179; Die Darstellung berücksichtigt nur zu diesem Zeitpunkt in der Star Alliance anzutreffende, wesentliche Hubs. n/a ... nicht anwendbar.

ten des Konzerns eingesetzt werden.<sup>123</sup> Verzichtet man aber auf diese Annahme, so sind die Flotten wie bei verschiedenen Airlines getrennt zu beachten.

Schließlich erfolgt in der hier durchgeführten Analyse hauptsächlich eine Betrachtung der für die Netzwerkgestaltung wesentlichen kosten- und erlösseitigen Argumente. Nicht beachtet werden Details, die sich aus einer nachgelagerten Revenue-Management Diskussion eventuell ergeben.

## ***4.2 Diskussion und vergleichende Analyse***

### **4.2.1 Flugbetriebsbezogene Faktoren**



Die flugbetriebsbezogenen Argumente zielen in erster Linie auf eine kostenseitige Betrachtung aus Airline-Sicht ab. Die Wahl des Netzwerktyps hat somit sehr starke Auswirkungen auf den Flugbetrieb und die laufenden Kosten der Fluglinie.

#### ***Economies of Density, Scale und Scope***

Wie Pompl darstellt, ergeben sich wesentliche Vorteile und Synergieeffekte von Hub-Systemen durch Verbundvorteile, die durch die gemeinsame Nutzung von Produktionsverfahren entstehen, wobei für eine Airline einzelne Linien als Produkte gesehen werden können.<sup>124</sup>

Flugbetriebsbezogene Economies of Density, Scale und Scope zählen zu den wesentlichsten Verbundvorteilen, die im Rahmen der Gestaltung von Netzwerken berücksichtigt werden müssen. Auf sie wurde bereits in der Hub-Diskussion in Abschnitt 2.2.2 kurz eingegangen. An dieser Stelle soll eine detailliertere Beschäftigung in Bezug auf die verschiedenen Netzwerkarten erfolgen.

#### ***Economies of Density***

Die Kosten einer Airline mit einem Hub-System sind sehr stark von Economies of Density geprägt. Dabei handelt es sich um die durch eine Verdichtung von Verkehren erzielten höheren Sitzladefaktoren<sup>125</sup> und höheren Frequenzen auf den Flugverbindungen. Passagiere mit unterschiedlichem Start und Ziel werden auf unterschiedlichen Teilen der Reise (Flugsegmenten) zusammengefasst. Durch die bessere Auslastung der (gegebenen<sup>126</sup>) Produktionsfaktoren (d.h. des Fluggeräts) kommt es damit zu einer Abnahme der Kosten pro angebotenem Sitzkilometer.<sup>127</sup> Es handelt sich also „um Produktionsvorteile, die aus einer höheren Auslastung einer unveränderten Anzahl bedienter Destinationen [bei gegebenem Fluggerät, Anm. d. Verf.] resultieren.“<sup>128</sup> Als Dichte wird in die-

---

<sup>123</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 10

<sup>124</sup> Vgl. Pompl (2007), S. 169

<sup>125</sup> Der Sitzladefaktor stellt die Relation zwischen den von einer Fluglinie tatsächlich verkauften Sitzplätzen zu den angebotenen Sitzplätzen her.

<sup>126</sup> Vgl. dazu „Economies of Scale“, bei denen kein gegebenes Fluggerät, sondern der Einsatz eines größeren vorausgesetzt wird.

<sup>127</sup> Vgl. Mayer (2001), S. 18f

<sup>128</sup> Jäggi (2000), S. 120

sem Zusammenhang „die Anzahl der Passagiere, für welche diese Speiche ein Segment ihrer Flugroute darstellt“<sup>129</sup> verstanden.

Economies of Density sind ein wesentliches Argument für die Wirtschaftlichkeit von Hub-Netzwerken, nachdem die Zusammenlegung von mehreren Nachfrageströmen zwischen verschiedenen Start- und Endknoten auf zentral, über einen Hub geführte Verbindungen dazu führt, dass mehr Passagiere auf derselben Verbindung unterwegs sind und damit Kostenvorteile resultieren.<sup>130</sup> Density-Vorteile werden in der Literatur immer wieder als einer der Hauptgründe für das Entstehen von Hubs angeführt.<sup>131</sup>

Besonders starke Economies of Density sind auf internationalen Umsteigeverbindungen zwischen zwei größeren Hubs (z.B. Allianz hubs) gegeben.<sup>132</sup> Dennis führt zum Beispiel die Verbindung Amsterdam und Detroit an, die früher mangels Nachfrage nicht und im Jahre 2000 mit vier Großraumflugzeugen des Typs 747 bedient wurde und damit die Bedeutung des Zubringens von Passagieren nach Amsterdam bzw. Detroit unterstreicht.<sup>133</sup>

In einem Netzwerk, in dem nur direkte Punkt-zu-Punkt Verbindungen angeboten werden, sind Economies of Density per se nicht vorhanden, da in diesen keine Bündelung von Verkehren durchgeführt wird. Darüber hinaus sind auch Multi-Hub Netzwerke wegen der parallelen Bündelung auf mehreren Hubs gegenüber einem Single-Hub Netzwerk in Bezug auf Density-Einsparungen benachteiligt.<sup>134</sup> Dies stellt ein wesentliches Argument gegen die Etablierung von Multi-Hub Systemen dar.

Damit trotzdem Direktverbindungen angeboten werden, ist eine ausreichend hohe Nachfrage für Flüge zwischen zwei Städten notwendig.<sup>135</sup> Ist dies der Fall, ist die Kundschaft auch entsprechend zahlungskräftig und weiß die Vorteile einer Direktverbindung zu schätzen, so werden die verlorenen Verbundvorteile durch erhöhte Einnahmen kompensiert.<sup>136</sup> Eine detailliertere Darstellung der passagierspezifischen Faktoren erfolgt in Abschnitt 4.2.2.

### *Economies of Scale*

Die Abgrenzung zwischen Economies of Scale und Density ist in der Literatur viel diskutiert und nicht eindeutig.<sup>137</sup> Economies of Scale werden in dieser Arbeit dann als bei einer Airline gegeben gesehen, wenn eine Fluglinie eine größere Anzahl von Passagieren zu geringeren Durchschnittskosten transportieren kann.<sup>138</sup> Sie treten in einem Hub-System daher insbesondere dann auf, wenn durch die angesprochene Bündelung von Passagieren auf Segmenten größere Flugzeugtypen eingesetzt werden können und damit

<sup>129</sup> Mayer (2001), S. 19. Ein Flugsegment stellt ein Teilstück einer aus mehreren Flugabschnitten bestehenden Flugroute dar.

<sup>130</sup> Vgl. Wojahn (2001), S. 268

<sup>131</sup> Vgl. z.B. Wojahn (2001), S. 268 oder Doganis (2002), S. 255

<sup>132</sup> Jäggi (2000, S. 260ff) bezeichnet dieses Phänomen als so genanntes „Volume Hubbing“.

<sup>133</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 78

<sup>134</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 5

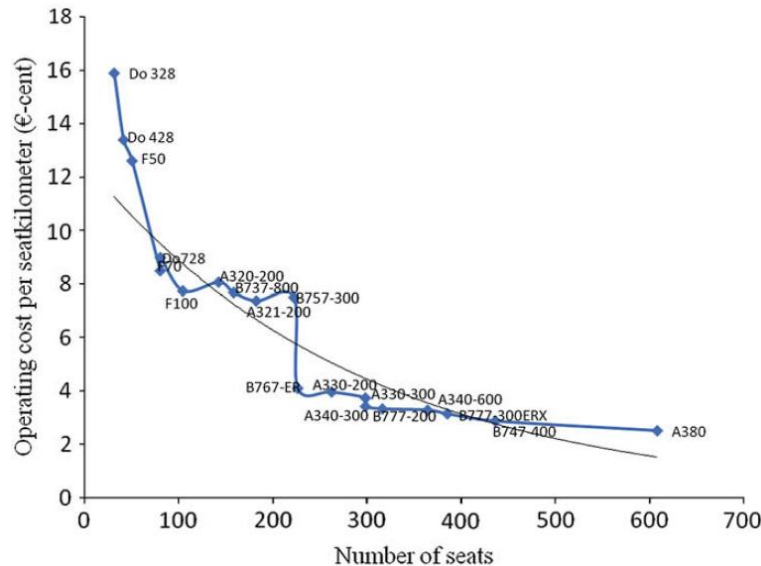
<sup>135</sup> Dieses Argument gilt nur für zwei Destinationen  $u$  und  $v$ , für die gilt  $u, v \notin H$ , wobei  $H$  die Menge der Hubs einer Airline ist.

<sup>136</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 8f

<sup>137</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 119

<sup>138</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 166

eine Reduktion der Stückkosten einhergeht. Dieser Effekt wird auch als „Economies of Aircraft Size“<sup>139</sup> bezeichnet. Ursache dafür ist die Verteilung der Kosten nicht beliebig teilbarer Produktionsfaktoren auf eine größere Ausbringungsmenge.<sup>140</sup> Welche Vorteile durch die Wahl eines größeren Fluggeräts erzielt werden können, ist aus folgender Grafik ersichtlich:



**Abbildung 14: Degressive Funktion der Kosten pro Sitzplatz für unterschiedliche Flugzeugmuster<sup>141</sup>**

Deutlich zu erkennen sind die stark fallenden Kosten pro Sitzkilometer bei der Verwendung eines größeren Fluggeräts. Somit können durch die Verwendung eines größeren Fluggeräts deutliche Einsparungen erzielt werden.

Die durch Economies of Scale induzierten Auswirkungen auf Netzwerke können analog wie jene von Economies of Density gesehen werden. Punkt-zu-Punkt bilden die untere und Single-Hub Netzwerke die obere Schranke des Möglichen. Multi-Hub Netzwerke erzielen aufgrund ihrer geringeren Bündelungswirkung und Verkehrsverteilung geringere Effekte als jene mit lediglich einem Hub.

#### *Economies of Scope*

Economies of Scope entstehen bei Produktionsunternehmen immer dann, wenn durch die gleichzeitige Produktion von mehreren Gütern Kostenvorteile entstehen und somit mehrere Güter günstiger produziert werden können, als nur eines.<sup>142</sup> Sie treten bei Hub-

<sup>139</sup> Mayer (2001), S. 21

<sup>140</sup> Vgl. Mayer (2001), S. 20f. Größeneffekte treten dabei auch im Zusammenhang mit z.B. Administrationsausgaben auf.

<sup>141</sup> Pels (2008), S. 70 nach Connekt (2001). Es gilt anzumerken, dass in der Abbildung die Flugzeugtypen unabhängig von der Distanz verglichen werden, obwohl auch diese ein wesentlicher Faktor für die Kosten pro Sitzkilometer sind (Vgl. Abbildung 16). Dementsprechend kann es durchaus vorkommen, dass ein Airbus A380 auf kurze Distanz höhere Kosten pro Sitzplatzkilometer hat als eine Dornier 328. Grundlegend behält die Darstellung dennoch ihre Gültigkeit.

<sup>142</sup> Vgl. Mayer (2001), S. 19

Systemen einerseits wegen der Vielzahl neuer Verbindungen durch die zusätzliche Anbindung eines Spokes<sup>143</sup> und andererseits aufgrund der Möglichkeit der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen die ansonsten nicht zur Gänze ausgelastet wären, wie zum Beispiel durch die einheitliche Abfertigung oder Wartung am Hub, auf.<sup>144</sup> Grund dafür ist, dass eine Flugverbindung von einem Hub zu einem Spoke ein gemeinsames Segment für verschiedene Flugrouten darstellt.<sup>145</sup> Economies of Scope können dabei auch nachfrageseitig auftreten, wenn dem Passagier durch die gemeinsame Produktion ein besseres Produkt angeboten werden kann.<sup>146</sup>

Economies of Density werden dabei als den Economies of Scope vorgelagert gesehen. Erst durch die Zusammenlegung mehrerer Routen auf einer Flugverbindung und die damit einhergehenden Economies of Density kommt es im nächsten (gedanklichen) Schritt zu Economies of Scope.<sup>147</sup>

Economies of Scope treten nur bei Hub- und nicht bei Direktverbindungen im hier diskutierten Zusammenhang auf. Der Unterschied zwischen Single- und Multi-Hub Netzwerken bedarf jedoch einer weiteren Überlegung. Im Allgemeinen ist jedoch davon auszugehen, dass Economies of Scope bei Multi- im Vergleich zu Single-Hub Netzwerken geringer ausfallen werden. Werden aber, wie in der Begriffsabgrenzung dargestellt, alle Destinationen an alle Hubs im Multi-Hub System angebunden, so lässt sich argumentieren, dass dadurch ähnliche Economies of Scope und damit in ähnlicher Höhe wie bei einem Ein-Hub System auftreten, nachdem die Produktion gemeinsam stattfindet.

#### *Zusammenfassende Bemerkungen*

Insgesamt sind mit den beschriebenen Skaleneffekten deutliche Auswirkungen auf die Kosten von Airlines verbunden. Wie McShan und Windle empirisch zeigten, wirkt sich eine 1%ige Erhöhung der Hub-Konzentration in einer Stückkostensenkung für die Airline von 0,11% aus.<sup>148</sup> Gillen et al. fanden wiederum für verschiedene Airlines heraus, dass sich bei einer 1,15-1,26%igen Erhöhung der verkauften Kilometer (inkl. Passagier, Fracht und Charter) die Kosten nur um 1% erhöhten, womit auch wieder Stückkostensenkungen verbunden sind.<sup>149</sup>

Alles in allem bewirken die drei in diesem Teil beschriebenen Verbundeffekte einen deutlichen Vorteil von Hub- gegenüber Punkt-zu-Punkt Netzwerken. Betrachtet man die zwei konkurrierenden Hub-Topologien, so zeigt sich, dass Multi-Hub gegenüber Single-Hub Systemen im Nachteil sind und damit die grundlegende ökonomische Überlegung von Skalen- und Dichtevorteilen gegen sie spricht.

#### *Notwendige Anzahl an Verbindungen und Flügen*

Aufgrund der Begrenztheit der Ressourcen einer Airline können Flüge nur in einer eingeschränkten Anzahl bereit gestellt werden. Die verschiedenen Netzwerktypen sind in

<sup>143</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 121

<sup>144</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 408

<sup>145</sup> Vgl. Mayer (2001), S. 20

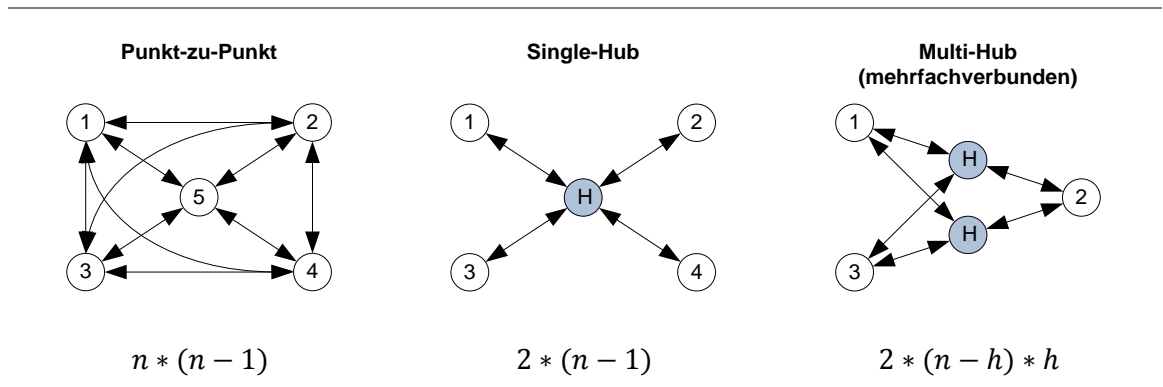
<sup>146</sup> Vgl. Iatrou/Oretti (2007), S. 122

<sup>147</sup> Vgl. Mayer (2001), S. 20

<sup>148</sup> Vgl. McShan/Windle (1989), zitiert bei: Dennis (2000), S. 82

<sup>149</sup> Vgl. Gillen/Oum/Tretheway (1990), S. 25

ihrer Normalform implizit mit einer bestimmten minimalen Anzahl an Flugverbindungen verbunden, um alle Spokes (über jeden Hub) zu erreichen:



**Abbildung 15: Minimale Anzahl an Flugverbindungen, um alle Knoten in einem Netzwerk zu erreichen<sup>150</sup>**

Betrachtet man die verschiedenen Netzwerktypen und die notwendige Anzahl an Flugverbindungen, dann schneidet das Single-Hub System am besten ab. Ihm folgt das Multi-Hub Netzwerk und an letzter Stelle zeigt sich das Punkt-zu-Punkt System. Beim Multi-Hub Netzwerk ergibt sich jedoch aufgrund der Mehrfachanbindung ein deutlicher multiplikativer Effekt aufgrund eines zusätzlichen Hubs – für die gleiche Anzahl an Destinationen sind bei einem zweiten Hub doppelt so viele Flugverbindungen notwendig.

In der Regel werden einzelne Destinationen aber nicht nur einmal am Tag angefliegen, sondern mit einer höheren Frequenz. Um dies beispielhaft zu illustrieren, reicht ein Blick auf das Netzwerk der Lufthansa und der angebotenen Frequenzen:

Gebiet	Frequenzen	Destinationen	Durchschn. Wochen-Frequenz/ Destination	Durchschn. Tages-Frequenz/ Destination
Nordatlantik	3.286	144	22,82	3,26
Europa	10.478	169	62,00	8,86
Deutschland	1.782	19	93,79	13,40
Nahost	197	17	11,59	1,66
Asien/ Pazifik	799	67	11,93	1,70
Südamerika	138	16	8,63	1,23
Afrika	255	44	5,80	0,83
Mittelwert	2.419	68	30,93	4,42

Daten: Lufthansa Geschäftsbericht (2009), S. 77

**Tabelle 3: Durchschnittliche Frequenz pro Woche der Deutschen Lufthansa pro Destination je Region (2009)<sup>151</sup>**

<sup>150</sup> Eigene Darstellung. Vgl. Mayer (2006), S. 16f.  $n$  gibt die Anzahl der Städte (inklusive Hubs) an und  $h$  steht für die Anzahl der Hubs im System. Hin- und Retourflug getrennt gezählt.



Im Durchschnitt ergeben sich für jede Destination über 4 Frequenzen pro Tag, lediglich Afrika bleibt im Durchschnitt unter einer Frequenz am Tag. Damit besteht in einem Multi-Hub System durchaus die Möglichkeit Flüge abwechselnd über die Hubs zu steuern und somit den Nachteil an Flügen gegenüber Single-Hub Netzwerken einzugrenzen.<sup>152</sup>

Betrachtet man nicht nur die (minimale) Anzahl an Verbindungen in einem Netzwerk als Ganzes sondern einzelne Verbindungen zwischen zwei Destinationen, dann sind Hub-Verbindungen im Nachteil, nachdem für eine einzelne Verbindung zwei Flüge notwendig sind. Zudem gilt es dabei noch weitere Effekte zu beachten, auf die im folgenden Teil eingegangen werden soll.

### ***Streckenlängen und Streckenkosten***

Die Kosten einer Airline setzen sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei Airlines diese Kosten anteilmäßig auf einzelne Routen umlegen, um zu besseren Netzwerkentscheidungen zu kommen. Gemäß der Veränderbarkeit von Kosten schlüsseln sich diese in direkte variable operative, fixe direkte operative und indirekte operative Kosten auf. Ein hoher Anteil der Kosten einer Airline (40,1%) ist direkt mit dem Flug verbunden. Etwa ein Viertel der Kosten steht in Verbindung mit der Flottengröße und schließlich ist ca. ein Drittel der Kosten indirekt und entsteht in Verbindung mit Routen bzw. dem Produkt an sich.<sup>153</sup>

Dabei ist die Länge einer Flugstrecke ein entscheidender Treiber jener Kosten, die einer Airline für einen einzelnen Flug entstehen. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass bei geringen Streckenlängen eine Verlängerung der Flugstrecke zu einer hohen Reduktion insbesondere der variablen direkten operativen Kosten pro angebotenen Sitzkilometer führt.<sup>154</sup> Dies sei mit Abbildung 16 näher dargestellt:

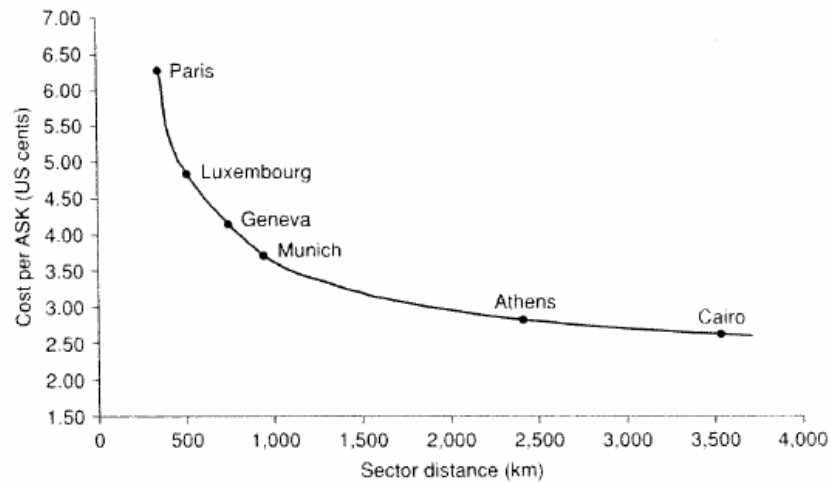
---

<sup>151</sup> Lufthansa (2010), S. 77. Die Darstellung inkludiert auch Direktverbindungen und Codeshares. Zu beachten ist, dass einzelne Destinationen u.a. von mehreren Hubs aus angeflogen werden.

<sup>152</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 406 sowie dazu auch die Beschreibung der Flugfrequenzen in Abschnitt 4.2.2 „Passagierindividuelle Faktoren“

<sup>153</sup> Vgl. Doganis (2002), S. 96

<sup>154</sup> Vgl. Doganis (2002), S. 131



**Abbildung 16: Kostendegression aufgrund der Streckenlänge bei einem Airbus A321 in US Cents pro angebotenem Sitzkilometer (ASK)<sup>155</sup>**

Für den starken anfänglichen Abfall sind mehrere Faktoren ausschlaggebend. Zunächst werden die besonders kostenintensiven und relativ unproduktiven Aktivitäten wie Taxiing<sup>156</sup>, Steig- und Sinkflug auf eine größere Streckenlänge verteilt und angerechnet. Dies gilt vor allem für den Treibstoffverbrauch während dieser Zeitspannen, der entweder unproduktiv (Taxi) oder sehr hoch (Steigflug) ist. Zudem trägt der Faktor bei, dass mit einer auf der Reiseflughöhe geringeren Luftdichte weniger Kerosin verbraucht wird. Weiters sind die Kapitalkosten des Flugzeuges zu beachten, die nur im Flug zurückverdient werden können. Ähnliches gilt für den hohen Anteil an Fixkosten, der in Verbindung mit dem Personal (Crew im Cockpit und der Kabine) steht.<sup>157</sup>

Airlines sind bemüht, diesen Effekt auszunützen. Dies zeigen Tsoukalas, Belobaba und Swelbar in einer von Ihnen für den US-amerikanischen Markt durchgeführten Studie. Im Zeitraum zwischen 2000 und 2006 wiesen sie bei Airlines steigende durchschnittliche Streckenlängen, die mit sinkenden Durchschnittskosten korrelierten nach.<sup>158</sup>

Diese auf einen Flug bezogenen Effekte, gilt es im Rahmen der Netzwerkdiskussion zu beachten. Hub-Netzwerke sind wie dargestellt dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Flugverbindung zwischen zwei Destinationen in zwei oder mehr Einzelstrecken unterteilen. Zunächst ist damit ein zusätzlicher Aufwand für den Transfer von Passagieren durch zum Beispiel Gepäcktransfer oder Passagierbetreuung verbunden. Weiters fallen zusätzliche Gebühren am Hub-Flughafen an. Schließlich führt die Unterteilung des Direktfluges meist zu einer oder zwei kürzeren Strecken im Vergleich zur Punkt-zu-Punkt

<sup>155</sup> Doganis (2002), S. 131. In der Grafik sind zudem noch erhöhte Wartungskosten und Gebühren aufgrund der höheren Anzahl an Flügen durch kürzere Flüge eingerechnet. Das außer Acht lassen derselben dürfte keine wesentlichen Veränderungen in der Grafik zur Folge haben.

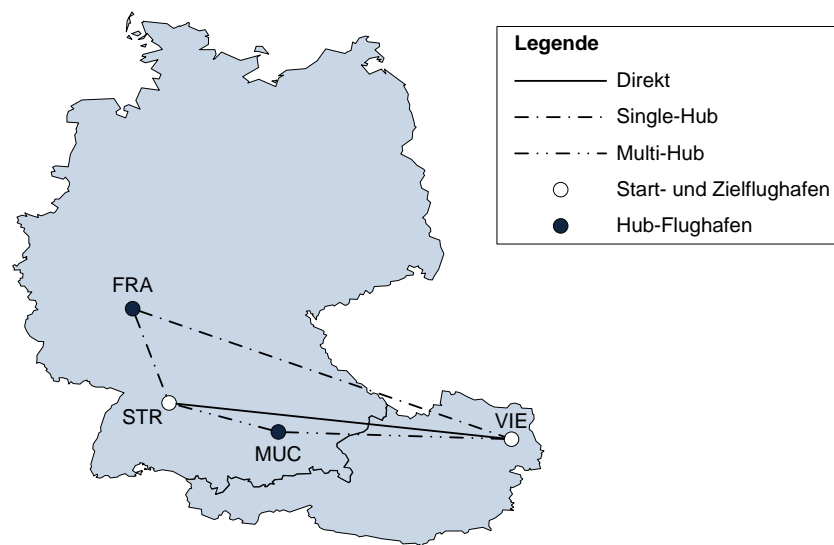
<sup>156</sup> Taxi stellt den Weg eines Flugzeuges von der Parkposition am Flughafen bis zur Startbahn und umgekehrt dar.

<sup>157</sup> Vgl. Doganis (2002), S. 128ff

<sup>158</sup> Vgl. Tsoukalas/Belobaba/Swelbar (2008), S. 18

Verbindung (bei höherer Gesamtdistanz) und folglich zu höheren Kosten entsprechend Abbildung 16.

Ist eine der Strecken der hier betrachteten Umsteigeverbindungen länger als die theoretische Punkt-zu-Punkt Verbindung, so wird so genanntes „Backtracking“<sup>159</sup> erforderlich. Unter „Backtracking“ versteht man eine Umsteigeverbindung via einem Hub, bei der die Zubringerverbindung zum Hub praktisch in die entgegengesetzte geographische Richtung wie der Anschlussflug zum eigentlichen Ziel ist und damit eine Verlängerung der Streckenlänge(n) resultiert.<sup>160</sup> Ein Multi-Hub System kann in diesem Fall zeitliche Vorteile im Vergleich zu einem Single-Hub System bringen. Dies sei mit Abbildung 17 grafisch dargestellt:



**Abbildung 17: Backtracking bei Single- und Multi-Hub Systemen im Vergleich<sup>161</sup>**

In der Abbildung wurde eine Flugverbindung zwischen Wien (VIE) und Stuttgart (STR) angenommen, die entweder direkt oder indirekt über einen Hub geführt werden kann. Angenommen eine Fluggesellschaft betreibt ein Single-Hub System mit Frankfurt (FRA) als zentralen Flughafen, so würden dadurch Nachteile im Vergleich zur Direktverbindung resultieren. Betreibt die Fluggesellschaft (wie es auch bei Lufthansa in der Praxis der Fall ist) einen weiteren Hub in München (MUC), so kann der wegbezogene Nachteil im Vergleich zur Direktverbindung in diesem Fall reduziert werden. Die Vorteile sind umso höher, je mehr angesteuerte Zielflughäfen sich in vergleichbar näherer Distanz des zweiten Hubs im Multi-Hub System befinden.<sup>162</sup> Zu beachten ist jedoch, dass je nach Konstellation die höheren Kosten einer kürzeren Verbindung dem entgegenwirken. Für das Beispiel aus Abbildung 17 ergibt sich für ein Linienflugzeug des Typs Airbus A-321 mit 185 Sitzplätzen mit den Daten aus Abbildung 16 folgende Kalkulation:

<sup>159</sup> Maurer (2006), S. 409

<sup>160</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 409

<sup>161</sup> Eigene Darstellung

<sup>162</sup> Die an dieser Stelle beschriebenen wegbezogenen Vorteile sind umso größer, je weiter die Hubs im System auseinander liegen. Die hier durchgeführte Darstellung verzichtet auf die Beachtung von Inter-Hub Bündelungsverkehren, wie bereits einleitend zu diesem Abschnitt erwähnt.

Verbindung	Strecke	Distanz <sup>1</sup> [km]	Kosten/ ASK <sup>2</sup> [\$ Cent/km]	ASK <sup>3</sup> [km]	Kosten <sup>4</sup> [€]	Summe [€]
Verbindung 1	VIE - MUC	355,28	5,7	65.727	2.776	
	MUC - STR	192,49	6,3	35.611	1.662	<b>4.438</b>
Verbindung 2	VIE - FRA	621,93	4,4	115.057	3.751	
	FRA - STR	156,53	6,3	28.958	1.352	<b>5.103</b>
Verbindung 3	VIE - STR	546,02	4,6	101.014	3.443	<b>3.443</b>

<sup>1</sup> Luftliniendistanz zwischen den Flughäfen. Globefeed (2010), <http://distancecalculator.globefeed.com>

<sup>2</sup> Werte angenähert nach Doganis (2002), S. 131 (Höchstwert für <320km)

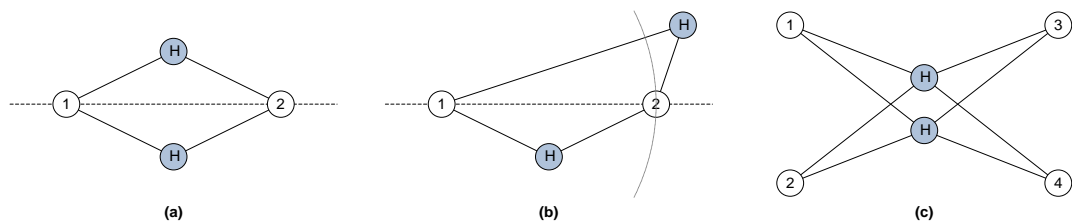
<sup>3</sup> Airbus A321 mit 185 Sitzplätzen. Airbus (2010), <http://www.airbus.com>

<sup>4</sup> Umgerechnet in Euro

**Tabelle 4: Beispielhafte Kosten verschiedener direkter und indirekter Flugverbindungen auf Basis der Streckenkosten bei Verwendung desselben Flugzeugtyps exkl. Transferkosten für Passagiere<sup>163</sup>**

Im fiktiven obigen Beispiel mit dem Linienflugzeug Airbus A321 ist somit die Direktverbindung (Verbindung 3) mit Abstand am Günstigsten nachdem einerseits nur ein Flug notwendig ist und andererseits dieser zu relativ günstigen Konditionen durchgeführt werden kann. Gefolgt wird diese von der auf einer Linie liegenden Umsteigeverbindung über München. Erst an letzter Stelle rangiert die Backtracking erfordernde Verbindung über Frankfurt. Die deutlich niedrigeren Kosten pro angebotenem Sitzkilometer bewirken keine Veränderung des Ergebnisses. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu beachten, dass bei geographisch nahe beieinander liegenden Hubs die Unterschiede zwischen Single- und Multi-Hub Netzwerken eher gering ausfallen. Erst eine geographische Spezialisierung der Hubs würde die Vorteile deutlich erhöhen.<sup>164</sup>

Die Streckenlängen bei verschiedenen Netzwerktypen sind von den angebotenen Destinationen abhängig. Mit Hilfe der in Abbildung 18 dargestellten schematischen Netzwerke, soll eine kurze Diskussion erfolgen:



**Abbildung 18: Unterschiedliche Hub- und Spoke-Flughafenkonstellationen im Vergleich<sup>165</sup>**

Hinsichtlich der Streckenlänge können in einem Netzwerk verschiedene Fälle unterschieden werden. Sehr häufig ist auf Kurz- und Mittelstrecken<sup>166</sup> der in Abbildung 18

<sup>163</sup> Eigene Darstellung. Vgl. Doganis (2002), S. 131. ASK ... Angebotene Sitzkilometer

<sup>164</sup> Vgl. dazu auch Jäggi (2000), S. 257

<sup>165</sup> Eigene Darstellung

(a) dargestellte Fall anzutreffen, in dem der Hub die Verbindung in zwei kurze Flugsegmente teilt, sowohl im Single- als auch im Multi-Hub Fall. Deutlich zu erkennen ist, dass die Punkt-zu-Punkt Verbindung auch das längste (ein-gliedrige) Streckensegment darstellen würde. Ähnliches gilt auch für die Langstrecke, bei der im Normalfall ein Streckensegment eine Fernrelation mit großer Kostendegression darstellt. Je länger dabei die Fernrelation ist, desto geringer sind meist (prozentuell gesehen) die Unterschiede in der Streckenlänge zwischen der Fernrelation und der Direktverbindung.<sup>167</sup> Weiters ist aber durchaus möglich, wie in (b) abgebildet, möglich, dass eine Verbindung zum Hub (oder im Extremfall sogar beide) länger als eine direkte Verbindung ist. Außer im Extremfall ist diese dann jedoch oft mit einem kürzeren Teilstück kombiniert. Werden in einem Multi-Hub System die Spokes an alle Hubs angebunden (siehe (c)), so kommt es auf die Lage der Spokes an, ob sich kürzere und längere Verbindungen gegenseitig aufheben.

Zusammenfassend haben in der Praxis Hub-Verbindungen eine in Summe höhere Streckenlänge als Direktverbindungen. Im hier betrachteten Fall führt ein Hub wegen der notwendigen Unterbrechung der Verbindung meist zu höheren Kosten pro Flug. Dies insbesondere aufgrund der in der Streckenlänge degressiven Kostenfunktion und der möglichen Notwendigkeit von Backtracking. Damit sind Direktverbindungen im Vorteil. Der Unterschied von mehrfachverbundenen Multi-Hub Systemen im Vergleich zu Single-Hub Systemen ist durch die Lage der Destinationen bestimmt. Im besten Fall heben sich längere und kürzere Hub-Verbindungen im gesamten Streckennetz auf und das Multi-Hub Netzwerk kann wie das Single-Hub betrachtet werden.

### ***Flugzeugauslastung***<sup>168</sup>

Ein Flugzeug verdient nur dann Geld, wenn es in der Luft ist. Mit dieser einfachen Aussage kann das Kriterium der Flugzeugauslastung charakterisiert werden. Eine höhere Flugzeugauslastung ist für eine Airline umso leichter zu realisieren, je mehr mögliche Flugverbindungen im Netzwerk vorhanden sind.<sup>169</sup>

Das Hub-and-Spoke Netzwerk wird von vielen Fluggesellschaften in Form eines Wellensystems (Vgl. Abschnitt 2.2.2) gestaltet. Diese spezielle Gestaltung des Netzwerks und der Flüge darin hat zur Folge, dass damit zwei Arten von Wartezeiten verbunden sind, die bei der Verwendung von Direktverbindungen nicht notwendig wären. Dazu zählt einerseits die Wartezeit am Hub und andererseits jene am Spoke.

Die Wartezeit auf einem Flughafen ist durch die minimale Bodenzeit eines Flugzeuges nach unten beschränkt („Minimum Turnaround Time“). Diese gibt (meist je Flugzeugtyp) an, wann es frühestens nach einer Landung wieder zum nächsten Flug starten

---

<sup>166</sup> Die Differenzierung zwischen Kurz-, Mittel- und Langstrecke ist nicht allgemeingültig möglich. Sterzenbach und Conrady nennen für die Kurzstrecke einen Wert von 300km-1.500km, für die Mittelstrecke einen von 1.500km-3.000km und bezeichnen darüber liegende Flugstrecken schließlich als Langstrecken. Vgl. Sterzenbach/Conrady (2003), S. 88; Diese Differenzierung wird hier übernommen.

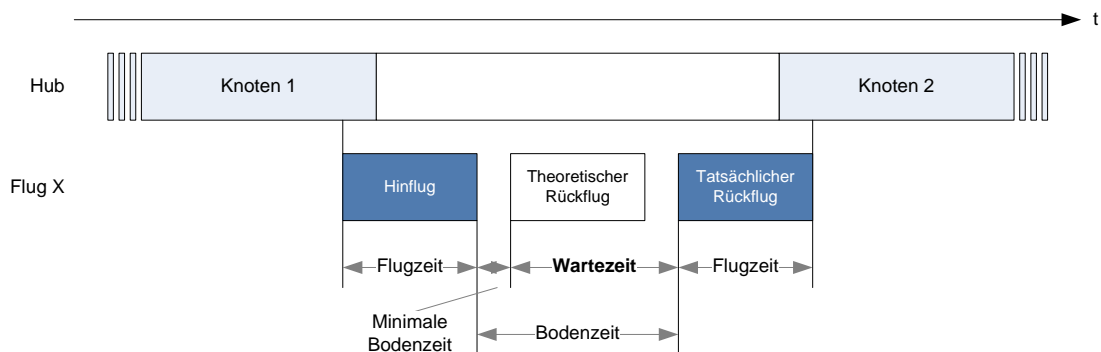
<sup>167</sup> Dies gilt auch für drei-gliedrige Strecken mit Inter-Hub Verkehren.

<sup>168</sup> Beim hier verwendeten Auslastungsbegriff handelt es sich um die Auslastung in Bezug auf die Nutzungsdauer eines Flugzeuges und nicht um die passagiermäßige Auslastung wie unter Economies of Density, Scale und Scope.

<sup>169</sup> Vgl. Doganis (2002), S. 133

kann.<sup>170</sup> Abgesehen von möglichen Einschränkungen durch nicht zur Verfügung stehende Slots, muss in einem Hub-Netzwerk mit Wellensystem meist darauf gewartet werden, dass alle eingehenden Verbindungen gelandet sind und die Passagiere dieser Flüge auch genug Zeit zum Umsteigen haben.<sup>171</sup> Dies gilt für alle Hub-Systeme gleichermaßen.

Am Spoke muss ein Flugzeug in einem Wellensystem, welches sich in einem „hub-repeat cycle“<sup>172</sup> befindet und dementsprechend von einem Hub kommend zum selben wieder retour fliegt, auf die nächste mögliche Welle zum Landen warten und kann deshalb erst dann sinnvollerweise starten, wenn sie diese in Flugzeit erreichen kann.<sup>173</sup>



**Abbildung 19: Wartezeiten von Flugzeugen an Spokes aufgrund von Wellensystemen<sup>174</sup>**

Nach der (meist kürzeren) „Minimum Turnaround Time“ am Spoke ist ein Flugzeug wieder bereit für den nächsten Flug. Muss es jedoch auf die nächste Welle an einem Hub warten, so verzögert sich der Abflug und es entsteht eine kostenintensive Wartezeit. Je mehr Wellen auf einem Hub vorhanden sind, desto geringer sind die Wartezeiten für den Rückflug bei entsprechendem Routing.

Mehrere Hubs sind in diesem Zusammenhang insbesondere dann von Vorteil, wenn sie komplementär agieren. Ein großer Vorteil bei einem Multi-Hub System besteht daher in der Möglichkeit, die Wellen, vor allem von geographisch nahe aneinander gelegenen Hubs, zeitlich aufeinander abzustimmen.<sup>175</sup> Eine Option besteht darin, die Wellen auf beiden Flughäfen verzahnt zu gestalten.<sup>176</sup> Als ein solches Beispiel lässt sich wieder um

<sup>170</sup> Vgl. Sterzenbach/Conrady (2003), S. 299. Maßgeblich für die Zeitmessung sind dabei nicht Start- und Landezeitpunkt, sondern Block-on und Block-off Zeit, die angeben wann ein Flugzeug tatsächlich am Gate angekommen ist und wann es dieses wieder verlassen hat.

<sup>171</sup> Vgl. dazu Maurer (2006), S. 404. Für das Umsteigen ist die so genannte Minimum Connecting Time (MCT) ausschlaggebend, welche flughafenspezifisch ist. Die MCT ist tendenziell bei Hub-Flughäfen größer als bei Flughäfen mit geringem Flugaufkommen. Vgl. Sterzenbach/Conrady (2003), S. 289f

<sup>172</sup> de Wit/Burghouwt (2005), S. 10. „Ein Hub Repeat Cycle“ bezeichnet die Zeit zwischen den gleichen Punkten in zwei konsekutiven Wellen. [...] Die Gesamt-Wellenzahl eines Hubs lässt sich ermitteln, indem die Betriebszeit des Airports durch den Hub Repeat Cycle dividiert wird.“ Vgl. Jäggi (2000), S. 113

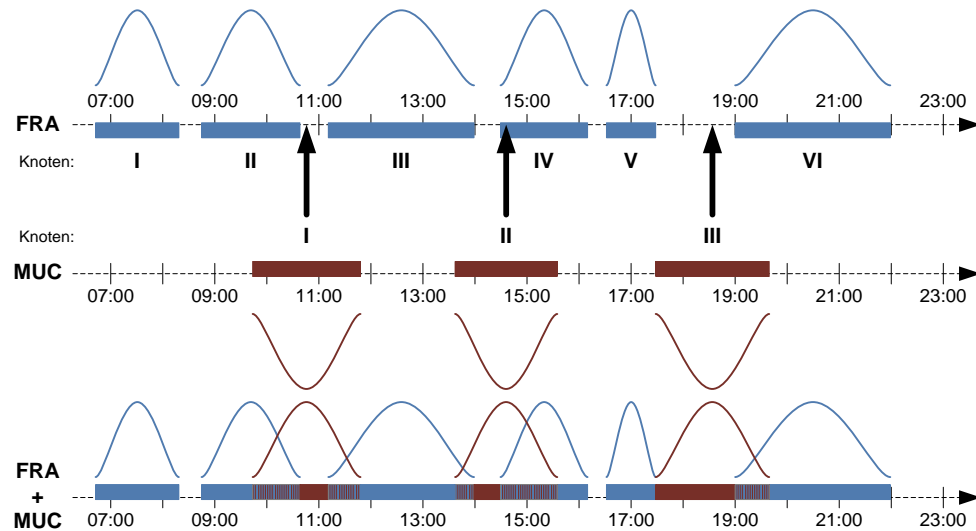
<sup>173</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 10

<sup>174</sup> Eigene Darstellung

<sup>175</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 83

<sup>176</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 405f

die Gestaltung des Multi-Hub Systems von Lufthansa in Frankfurt und München anführen. Beide Wellensysteme sind so gestaltet, dass die Wellen auf den Hubs zeitlich versetzt sind und somit ein deutlich höherfrequentes<sup>177</sup> Angebot möglich ist.



**Abbildung 20: Verzahnung der Knoten beim Lufthansa Doppel-Hub System mit Frankfurt und München (2006)<sup>178</sup>**

Nachdem in einem Multi-Hub System ein Flugzeug nach der Landung nicht auf die nächste Welle eines einzigen Hubs warten muss, sondern auch zu einem anderen, alternativen Hub geroutet werden kann, erhöht sich dadurch die mögliche Anzahl an Flügen und folglich die Flugzeugauslastung. Dies wird bereits in amerikanischen Multi-Hub Airlinesnetzwerken seit vielen Jahren durchgeführt, um die Effizienz der Flotte zu verbessern. Dabei funktioniert das System besonders gut, wenn möglichst viele Knoten auf verschiedenen Hubs für den Rückflug zur Verfügung stehen. Das Problem ist insbesondere dann gegeben, wenn die Flugzeiten zu unterschiedlichen Destinationen deutlich variieren und somit mit lediglich einem Hub keine ausreichende Anzahl an Rückflugoptionen geschaffen werden kann.<sup>179</sup>

An dieser Stelle gilt es jedoch zu erwähnen, dass das Einsetzen von Flugzeugen auf verschiedenen Hubs gleichzeitig zu Interdependenzen zwischen den Hubs führen kann, welche vermehrte zeitliche Störungen zur Folge haben, weshalb zum Beispiel Lufthansa sich im Jahr 2006 gegen diese Option entschieden hat und getrennte Flotten einzelnen Hubs zuordnet.<sup>180</sup>

<sup>177</sup> Vgl. dazu auch 4.2.2, „Passagierindividuelle Faktoren“

<sup>178</sup> Eigene Darstellung nach Maurer (2006), S. 405

<sup>179</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 82f. Ähnliche Effekte sind auch bei der optimalen Einsatzplanung der Crew abbildbar. So kann durch die Reduktion von Wartezeiten in einem Netzwerk, das zur Verfügung stehende Potential an Arbeitsstunden von sowohl Cockpit- als auch Kabinenbesatzung besser genutzt und gesetzliche Ruhezeiten trotzdem eingehalten werden.

<sup>180</sup> Vgl. Travel Inside (2006), <http://www.travelmanager.ch>

Um die Bedeutung der aktiven Flugzeit eines Flugzeugs zu verstehen, gilt es, sich die Kosten vor Augen zu führen, die einer Airline alleine durch das unbemannte Flugzeug aufgrund von Abschreibungen je Blockstunde<sup>181</sup> anfallen:

Szenario	Flugzeug	Beschaf- fungs- kosten <sup>1</sup> [€ Mio.]	Restwert (10%) [€ Mio.]	Abschrei- bungs- dauer [Jahre]	Block- stunden/ Jahr <sup>2</sup> [h]	Abschrei- bung/ Block- stunde [€]	Abschrei- bung/ Block- stunde [%]
<b>(1) Aktuell</b>	737-800	56,9	5,7	16	5.256	608,61	
	747-8	222,7	22,3	16	3.139	3.989,98	
<b>(2) Redukti- on Bodenzeit 1h/Tag</b>							
	737-800	56,9	5,7	16	5.621	569,09	
	747-8	222,7	22,3	16	3.504	3.574,36	
						[€]	[%]
<b>Differenz</b>							
<b>(1)-(2)</b>	737-800						<b>39,52</b>
	747-8						<b>6,49%</b>
						<b>415,62</b>	<b>10,42%</b>

<sup>1</sup> Durchschnittswerte lt. Hersteller. Vgl. Boeing (2010), <http://www.boeing.com>

<sup>2</sup> Durchschnittliche Blockstunden der Lufthansa (2007) pro Tag auf das Jahr bezogen. Trennung von Kurzstrecke (klassisch, nicht regional: 14,4h) und Langstrecke (8,6h). Vgl. Garnadt (2008), S. 30  
Im Vergleich dazu erzielen amerikanische Airlines pro Tag im Gesamtdurchschnitt 10,63h. Vgl. MIT (2010), <http://web.mit.edu>

**Tabelle 5: Unterschiede in Abschreibungskosten pro Blockstunde durch Reduktion der Bodenzeiten in zwei Szenarien<sup>182</sup>**

Eine mit einem Multi-Hub System (oder auch Punkt-zu-Punkt) realisierte Einsparung von Bodenzeiten pro Tag, kann die einer Fluglinie entstehenden Abschreibungsaufwände pro Flugstunde deutlich reduzieren. Wird, wie in Szenario 2 (Reduktion Bodenzeit 1h/Tag) Bodenzeiten im Durchschnitt um eine Stunde pro Tag reduziert, so würden ceteris paribus die Abschreibungsaufwände pro Blockstunde um 6,5% auf der Kurz- und 10,4% auf der Langstrecke fallen. Neben diesen alleine durch die Abschreibung verursachten Aufwänden fallen aber während einer Bodenzeit zudem oft zum Beispiel Kosten für eine wartende Crew an, welche nicht alternativ eingesetzt werden kann.

Einen weiteren Schätzwert für die Möglichkeiten der Einsparung bieten die Kostenvorteile von Low-cost Fluglinien. Es wird geschätzt, dass Low-cost Airlines durch höhere Flugzeugauslastung Kostenvorteile von ca. zwei Prozent im Vergleich zu Netzwerkfluggesellschaften erzielen.<sup>183</sup> Zwei Prozent machen zunächst wenig aus, jedoch gilt es diese in den entsprechenden Kontext zu setzen. Auf der Spitze des letzten wirtschaftli-

<sup>181</sup> Eine Blockstunde dauert vom Einschalten bis zum Ausschalten der Triebwerke. Vgl. Doganis (2002), S. 124

<sup>182</sup> Eigene Darstellung. Berechnung nach Doganis (2002), S. 82ff

<sup>183</sup> Vgl. Doganis (2006), S. 171. Es sei jedoch angemerkt, dass diese Vorteile oft durch das Ansteuern von eher gering ausgelasteten Regionalflughäfen gelingen, auf die Netzwerkfluggesellschaften geschäftsmodellbedingt nicht zusteuern können.



chen Zyklus der Airlines 2007 erwirtschafteten die IATA-Airlines eine Gewinnspanne von durchschnittlich 3,9%.<sup>184</sup> Dementsprechend können Kosteneinsparungen durch höhere Flugzeugauslastungen einen wesentlichen Hebel für eine höhere Profitabilität einer Airline darstellen.

Zusammenfassend stellen Punkt-zu-Punkt Verbindungen also die beste Option in Bezug auf die Flugzeugauslastung dar. Bei der Unterscheidung zwischen Single- und Multi-Hub Netzwerken kommt es darauf an, ob eine Fluggesellschaft die Flotten zwischen mehreren Hubs austauscht. Wenn ja, so sind Multi-Hub Netzwerke im Vorteil, wenn nein, so besteht keine Differenz zu Single-Hub Netzwerken. Dabei gilt es jedoch auch Nachteile des Austausches von Flugzeugen zu berücksichtigen, welche im nächsten Abschnitt diskutiert werden.

### *Fehlerwahrscheinlichkeit des Netzwerks*

Verlässlichkeit und damit Pünktlichkeit stellen wesentliche Faktoren für die Qualität eines Netzwerks dar. Verspätungen in einem Netzwerk können zu Störungen in den Betriebsabläufen von Crew und Flugzeugen einerseits und den Passagieren andererseits führen. Hier soll vor allem auf zweiteres eingegangen werden. Der Reiseplan eines Passagiers wird als gestört (engl. „disrupted“) bezeichnet, „if one or more of the flight legs in his/her itinerary is cancelled, or if a flight leg is delayed beyond the point where the passenger can successfully connect to the next flight leg in his or her itinerary.“<sup>185</sup> Insgesamt zeigen Berechnungen, dass jedes weitere Wachstum des Luftverkehrs um 1%, zu einer voraussichtlichen Zunahme der Verspätungen um 5% führen wird.<sup>186</sup>

Eine Verspätungsminute bedeutet auf der einen Seite Kosten für den betroffenen Passagier und auf der anderen Seite gleichzeitig einen Verstoß der Airline gegen den mit dem Passagier geschlossenen Vertrag.<sup>187</sup> Für einen durchschnittlichen Passagier werden diese mit ca. 30 Euro-Cent pro Verspätungsminute für einen durchschnittlichen verspäteten Flug beziffert.<sup>188</sup> Der Schaden der der Wirtschaft durch Verspätungen entsteht, ist signifikant. Inklusive indirekter Effekte wurde das Schadensausmaß für die USA 2007 mit \$ 41 Milliarden beziffert, was in etwa 30% des Industriewertes repräsentiert.<sup>189</sup> Deutlich wird dies, wenn man die Gesamtanzahl der verspäteten Flüge betrachtet:

---

<sup>184</sup> Vgl. IATA (2009), S. 13

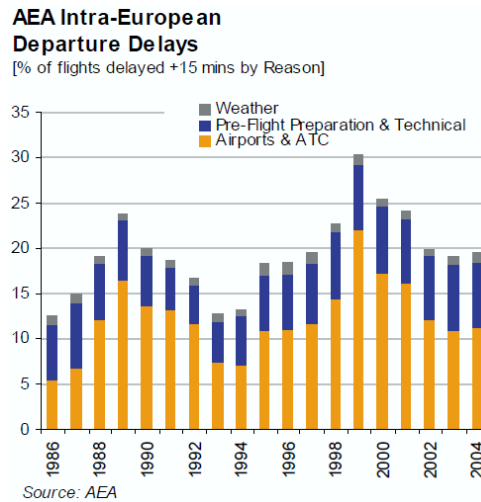
<sup>185</sup> Lan/Clarke/Barnhart (2006), 15

<sup>186</sup> Vgl. The Economist (2000), S. 57, zitiert bei: Schaefer et al. (2005), S. 340

<sup>187</sup> Vgl. Bhadra (2009), S. 830

<sup>188</sup> Vgl. Eurocontrol (2004), S. x

<sup>189</sup> Vgl. Bhadra (2009), S. 833



**Abbildung 21: Prozent der innereuropäischen Flüge der AEA mit Abflug-Verspätungen größer 15 Minuten (1996-2004)<sup>190</sup>**

So hatten 2004 beispielsweise ca. 20% der Flüge Abflug-Verspätungen von mehr als 20 Minuten. Dabei sind Flughäfen und Air Traffic Control (ATC) die Hauptursache für Verspätungen mit mehr als 15 Minuten. Ein geringerer Teil ist auf die Flugvorbereitung und technische Gründe zurückzuführen. Wetter stellt schließlich die kleinste Ursache für längere Verspätungen dar.<sup>191</sup>

Für eine Airline sind Verspätungen mit hohen Kosten verbunden. Diese sind zunächst abhängig von der Dauer der Verspätung und von der Größe des Flugzeuges, welches verspätet ist. Zusätzlich hängen die Kosten auch vom Ort ab, an dem die Verspätung auftritt. So sind Verspätungen in der Luft teurer als Verspätungen am Boden. Dies könnte auf den höheren Kerosinverbrauch in der Luft zurückzuführen sein (Vgl. Abbildung 22).

<sup>190</sup> AEA (2005), S. 2

<sup>191</sup> Es wesentlich zu erwähnen, dass fast die Hälfte (44%) der Verspätungen ab einer Minute in der European Civil Aviation Conference Area so genannter „Reactionary Delay“ ist. Dieser stellt einen Multiplikator der originären Ursache einer Verspätung dar und erhöht damit die Auswirkungen der primären Ursachen für Verzögerungen. Vgl. Eurocontrol (2009b), S. 38

„‘Reactionary’ delays may be defined as all delays which may be directly attributed to an initial, causal or primary delay, be they experienced by the causal aircraft, or by others. These may propagate throughout the network until the end of the same operational day. Either all, or part, of particular flight delay durations subsequent to the primary delay may be assigned as ‘reactionary’.” Eurocontrol (2004), S. 12

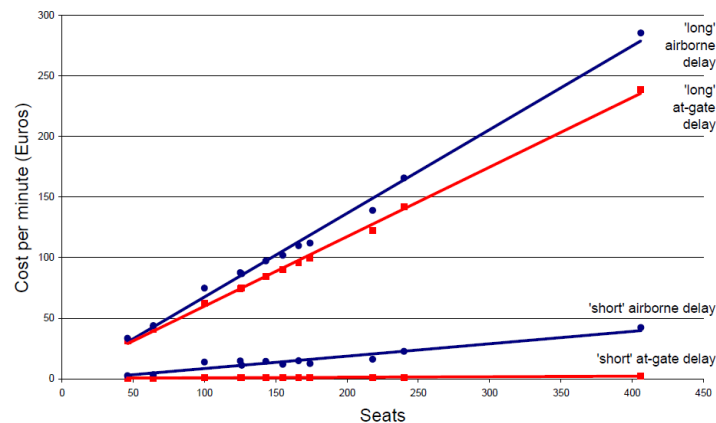


Abbildung 22: Kosten pro Minute Verspätung in Euro<sup>192</sup>

Aufgrund der insgesamt hohen Kosten durch Verspätungen liegt es konsequenterweise im Interesse jeder Airline, Verspätungen und vor allem die Anfälligkeit für Verspätungen möglichst zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, haben Airlines mehrere Möglichkeiten.

Die reaktionäre Variante besteht im möglichst schnellen Wiederherstellen des geplanten Ablaufs. Dies erfolgt im Normalfall in mehreren Schritten, wobei zunächst Flugzeuge, dann die Besatzung und schließlich die Passagiere neu geroutet werden.<sup>193</sup> Eine weitere Möglichkeit Verspätungen bereits in der Ursache zu reduzieren, stellt das Erstellen robuster Flugpläne dar, die mögliche Störungen bereits bei der Zusammenstellung desselben antizipieren. Dies ist selbstverständlich mit Schwierigkeiten verbunden, nachdem schwer zu definieren ist, welches primäre Ziel ein robuster Plan verfolgen soll, zukünftige Effekte wie zum Beispiel Wetterlagen unmöglich vorhergesehen werden können, stochastische Modelle sehr computerintensiv sind und Planungsunsicherheiten in Bezug auf Preise deutlich zunehmen.<sup>194</sup> Problematisch ist dabei auch, dass das Einplanen von Pufferzeiten in Kontrast zum effizienten Einsatz der Ressource Flugzeug steht. Daneben existieren noch weitere Techniken (wie z.B. eine höhere Reisefluggeschwindigkeit), die Airlines einsetzen, um die Auswirkungen von Verspätungen möglichst zu minimieren.<sup>195</sup>

Aus netzwerkbezogener Sicht könnte eine Möglichkeit zur Reduktion der Fehleranfälligkeit eines Netzwerks in der Schaffung von Redundanz in demselben liegen. Bei einem redundanten System existiert für ein primäres System ein zweites sekundäres, welches im Bedarfsfall, ab einem bestimmten Fehler-Grenzwert, die Aufgaben des primären übernehmen kann.<sup>196</sup> Redundanz tritt damit durch eine Parallelschaltung von Systemen auf:

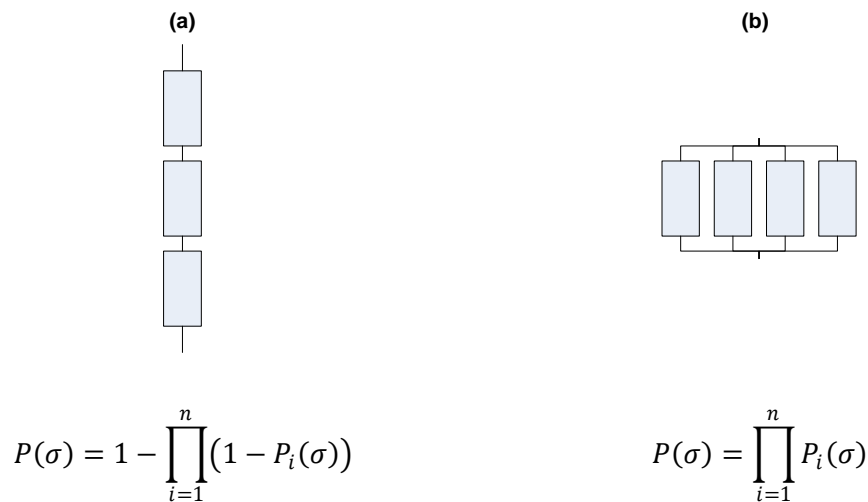
<sup>192</sup> Eurocontrol (2004), S. x; Als „short delay“ wurden Verspätungen mit 15 Minuten und als „long delay“ mit 65 Minuten verstanden. Vgl. Eurocontrol (2004), S. 21

<sup>193</sup> Vgl. Lan/Clarke/Barnhart (2006), S. 17

<sup>194</sup> Vgl. Lan/Clarke/Barnhart (2006), S. 16

<sup>195</sup> Vgl. dazu Kohl et al. (2007), S. 151ff

<sup>196</sup> Vgl. z.B. Ouyang et al. (2008), S. 4684



**Abbildung 23: Fehlerwahrscheinlichkeit bei sequentieller (a) und paralleler (b) Schaltung von Systemen<sup>197</sup>**

Die Fehlerwahrscheinlichkeit eines Systems aus mehreren, zusammenhängenden Systemen ist durch die Fehlerwahrscheinlichkeit der einzelnen Systeme bedingt. Im parallelen, redundanten Fall ergibt sich für das Gesamtsystem eine deutlich geringere Fehlerwahrscheinlichkeit als im sequentiellen (oder auch nicht-redundanten), aus einem Element bestehenden Fall (dieser entspricht sowohl (a) als auch (b) in Abbildung 23 mit  $n = 1$ ). Bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von beispielsweise 10% je Teilsystem und  $n = 2$  ergibt sich im sequentiellen Fall eine Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit von 19% und im redundanten eine von 1%.

Dieser Gedanke lässt sich auch auf Airline-Netzwerke übertragen. Ist in einem Punkt-zu-Punkt Netzwerk ein Flughafen gestört, so sind davon nur Flugverbindungen zu und von diesem Flughafen betroffen. In einem Single-Hub Netzwerk hängt die Planmäßigkeit des Betriebes vom Funktionieren des zentralen Knotens ab. Bei der Höhe der in Abbildung 21 dargestellten, auf den Flughafen zurückzuführenden Verspätungen, ist damit ein erhebliches Fehlerpotential gegeben.

Die einzelnen Hubs (mit ihren angebundenen Spokes) in Multi-Hub Netzwerken können als eine Kombination mehrerer Systeme im Sinne von Abbildung 23 gesehen werden. Damit redundante Systeme tatsächlich vorliegen ist wesentlich, dass diese unabhängig voneinander funktionieren. Die mathematischen Formeln von Abbildung 23 gelten demnach nur dann, wenn Fehler in zwei Systemen voneinander unabhängig sind.<sup>198</sup> Einzelne Hubs können dann als solche unabhängigen Systeme interpretiert werden, wenn es zu keinem gemischten Einsatz von Ressourcen auf beiden Hubs kommt. Bei einer Vermischung würden sich Fehlerwahrscheinlichkeiten vielmehr sequentiell verhalten, also sich im Vergleich zum Fall mit einem System (Hub) verschlechtern. Dieser

<sup>197</sup> Eigene Darstellung nach Kokcharov (2001), S. 110. Bei Unabhängigkeit der Systeme

<sup>198</sup> Vgl. Shooman (2002), S. 85

Effekt ist der oben beschriebenen höheren Ressourcenauslastung gegenläufig, weshalb in der Praxis sicherlich eine Abwägung getroffen werden muss.<sup>199</sup>

Wesentlich zu beachten ist, dass die oben genannten Fehlerwahrscheinlichkeiten für das Gesamtsystem (also Gesamtnetzwerk) einer Airline gelten. Wenn also die Hubs getrennt voneinander jeweils  $x\%$  Fehler ohne Auswirkung auf den anderen Hub verursachen können, so kann nach Ansicht des Autors die Situation im Multi-Hub System wie im Single-Hub Netzwerk (*ceteris paribus*, bei gleicher Anzahl an Verbindungen) gesehen werden. Dies ist bei geringen Verspätungen der Fall. Erst wenn Verzögerungen auf einem Hub dazu führen, dass Verkehre auf den anderen umgelagert werden müssen, dann bieten sich tatsächlich Vorteile durch Redundanz. Solche Situationen ergeben sich vor allem bei sehr langen Verspätungen<sup>200</sup> oder auch Flugabsagen. Vor allem bei großen Verspätungen reagieren Airlines häufig mit einer Absage des Fluges.<sup>201</sup> Im Winter 2008/09 lag Anteil der abgesagten Flüge bei 1,9% auf der Kurz- und bei 0,7% auf der Langstrecke, was im langjährigen Durchschnitt niedere Werte darstellt.<sup>202</sup> Immerhin bedeutet dies aber, dass ca. jeder 50. Kurzstreckenflug abgesagt wurde. Weiters ist der Redundanzvorteil im Fall von lokal auftretenden, den Flugverkehr störenden, Wettersituationen (z.B. Schnee oder Eis), Naturkatastrophen (z.B. Vulkanausbrüche) oder anderen Extremsituationen gegeben. Zum Beispiel blockierte 2008 blockierte zum Beispiel in London Heathrow (LHR) eine Boeing 777 für drei Tage eine Landebahn und führte zu einer Reduktion der verfügbaren AnkunftsKapazitäten zwischen 25 und 40%. Die durchschnittliche Verspätung bei der Ankunft betrug während dieser drei Tag 80 Minuten.<sup>203</sup>

Zusammenfassend sind damit Punkt-zu-Punkt Netzwerke in Hinblick auf die Fehlerwahrscheinlichkeit des Netzwerkes am besten. Multi-Hub Netzwerke wiederum bringen, wenn auf mögliche Abhängigkeiten zwischen mehreren Hubs geachtet wird, gewisse, wenn auch in manchen Fällen entscheidende Vorteile in Bezug auf die Ausfallsicherheit des Gesamtnetzwerks im Vergleich zu Single-Hub Systemen.

### ***Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen***

Die Wahl der Netzwerkform hat für eine Airline weiters einen Einfluss darauf, wie stark sich durch Nachfrageschwankungen ausgelöste Probleme auswirken. Ein Hub hat, grundsätzlich betrachtet, einen gewissen Pooling-Effekt in Bezug auf die Nachfrage. Einbrüche in Teilmärkten/-strecken können durch die Nachfrage auf anderen Strecken ausgeglichen werden. Dies hilft sowohl bei saisonalen Schwankungen der Nachfrage,

<sup>199</sup> Wie oben bereits beschrieben wurde der soeben beschriebene Effekte auch von Lufthansa erkannt, weshalb sie 2004 beschloss, ihre Flotte getrennt ihren Hubs getrennt zuzuordnen, um damit die Störungsanfälligkeit des Gesamtsystems zu verringern. Vgl. Travel Inside (2006), <http://www.travelmanager.ch>

<sup>200</sup> Dies kann insbesondere am Ende des Tages dann der Fall sein, wenn sich Verspätungen während des Tages akkumulieren. Vgl. Eurocontrol (2004), S. 96

<sup>201</sup> Vgl. Eurocontrol (2004), S. 58

<sup>202</sup> Vgl. AEA (2009), S. 1

<sup>203</sup> Vgl. Eurocontrol (2009a), S. 6-6

als auch bei Abhängigkeiten von bestimmten Routen.<sup>204</sup> Barla und Constantatos fassen dies wie folgt zusammen:

„The advantage of hubbing in the presence of demand uncertainty results from the fact that by pooling consumers, the h&s structure offers the flexibility to adjust the allocation of capacity across markets after the demand has been revealed. Such flexibility is not available to a firm that chooses the direct network.“<sup>205</sup>

Mit steigender Informationslage kann in einem Hub-Netzwerk also wesentlich besser auf Veränderungen der Nachfrage reagiert werden. Insbesondere hilft das Netzwerk bei Nachfrageschwankungen nicht korrelierter Teilmärkte, die mittels eines Hubs gebündelt werden.<sup>206</sup> Multi-Hub Netzwerke mit mehreren Hubs sind in diesem Fall im Vergleich zu Einzel-Hub Systemen wiederum im Vorteil. Dabei ist die Nachfrage nach Flügen zum und vom Hub das entscheidende Argument, denn der eigentliche Pooling-Effekt der Spokes-Nachfrage tritt im Gegensatz zu Punkt-zu-Punkt Netzwerken sowohl bei Single-Hub als auch bei mehrfachangeordneten Multi-Hub Netzwerken ein.<sup>207</sup> Ist in einem Netzwerk lediglich ein Hub vorhanden, so ist das gesamte Netzwerk stark von der Lage dieses einzelnen Hubs und der Nachfrage von Verkehren über diesen abhängig. Sind in einem Netzwerk hingegen mehrere Hubs vorhanden, so besteht die Möglichkeit, diese über mehrere Standorte zu verteilen und damit gleichzeitig die Sensitivität auf Nachfrageschwankungen zu verringern.<sup>208</sup> Je mehr Hub-Standorte in einem Airline-Netzwerk daher vorhanden sind, desto stärker gleichen sich Nachfrageschwankungen der verschiedenen Hub-Einzugsgebiete aus.

Ein ähnlicher Nachfrageeffekt ist in Bezug auf das Überbuchen von Flügen erkennbar. Beim Überbuchen wird die Kapazität eines Fluges mehr als 100% verkauft, um das Auftreten von Stornierungen und Ausfällen auszugleichen. Nachdem das Überbuchen eine probabilistische Operation ist, kann das Ansetzen von zu hohen Überbuchungsraten dazu führen, dass Plätze doppelt verkauft und Passagiere nicht mehr mitgenommen werden können.<sup>209</sup> Dies ist für die Airline und den Passagier unangenehm und mit hohen, auch gesetzlich geregelten Kosten verbunden.<sup>210</sup> Sind mehrere zeitgleiche oder zeitnahe Flüge vorhanden, so besteht die Möglichkeit, die Überbuchungsraten über die Flüge hinweg auszugleichen und somit die möglicherweise auftretenden Überbuchungskosten zu reduzieren, indem Passagiere alternative Flüge geboten werden können.<sup>211</sup> Dies wirkt gegengleich der weiter unten dargestellten Frequenzoptimierung und wird in weiterer Folge nicht mehr näher betrachtet.

---

<sup>204</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 124

<sup>205</sup> Barla/Constantatos (2000), S. 177f

<sup>206</sup> Vgl. Barla/Constantatos (2000), S. 180

<sup>207</sup> Zur Bedeutung der Lokalnachfrage auf europäischen Hubs vgl. Abschnitt „Bedienung asymmetrisch verteilter Nachfrage“

<sup>208</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 83

<sup>209</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 358f

<sup>210</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 360ff

<sup>211</sup> Siehe dazu auch Abschnitt 4.2.2, „Passagierindividuelle Faktoren“

#### 4.2.2 Passagierindividuelle Faktoren



Bei der Analyse und Umsetzung von Netzwerken dürfen nicht nur reine, im vorigen Abschnitt in Bezug auf den Flugbetrieb beschriebene Kostenaspekte aus angebotsorientierter Perspektive eine Rolle spielen. Wie Düdden<sup>212</sup> konsequenterweise argumentiert, müssen auch erlösseitige, vom Passagier ausgehende Nachfragefaktoren berücksichtigt werden.

Eine wesentliche zu beachtende Komponente in der Diskussion der passagierindividuellen Faktoren stellen die zwei typischen, im Luftverkehr vorhandenen Marktsegmente, einerseits der Privat- und andererseits der Geschäftsreisenden, dar. Diese sind in ihrer Stringenz zwar nicht mehr in jener Ausprägung wie vor ein paar Jahrzehnten (und sogar Jahren) vorhanden, jedoch stellen sie immer noch einen guten Ausgangspunkt für weitere Analysen dar. In Tabelle 6 seien die typischerweise zugeordneten Eigenschaften auszugsweise dargestellt:

Privatreisende	Geschäftsreisende
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preissensibel/ Preiselastisch (reagieren stark auf Preisänderungen)</li> <li>- Frühbucher</li> <li>- Relativ flexibel in der Reiseplanung</li> <li>- In der Regel Economy Class</li> <li>- Meist niedrigere Ertragswertigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preisunelastisch (reagieren wenig auf Preisänderungen)</li> <li>- Spätbucher</li> <li>- Benötigen hohe Flexibilität in der Reiseplanung</li> <li>- Höhere Produkt- und Serviceansprüche</li> <li>- Meistens Häufig-/Vielflieger</li> <li>- Hohe Ertragswertigkeit</li> </ul>

**Tabelle 6: Grundlegende Marktsegmente des Luftverkehrs im Vergleich<sup>213</sup>**

Beide Marktsegmente unterscheiden sich hauptsächlich in Hinblick auf deren Toleranz in Bezug auf das Preisniveau, also in der jeweils zugeordneten Preiselastizität der Nachfrage<sup>214</sup>.

#### **Reise- und Flugdauer**

Bei der Wahl eines Fluges ist für einen Passagier die Reisezeit ein wesentliches Kriterium.<sup>215</sup> Betrachtet man zwei gleich teure Flüge, so stellt die Zeit neben der sonst angebotenen Qualität dar sicherlich eines der wichtigsten Wahlkriterien. Nachdem sie den direkten Reiseweg verwenden haben Punkt-zu-Punkt Verbindungen den größten Vorteil in Bezug auf die Reisedauer.<sup>216</sup> Vor allem zahlungsfreudige „Premium-Kunden“ schät-

<sup>212</sup> Vgl. Düdden (2006), S. 423

<sup>213</sup> Eigene Darstellung nach Maurer (2006), S. 338

<sup>214</sup> Diese ist definiert durch:  $\text{Preiselastizität der Nachfrage} = \frac{\text{prozentuale Änderung d. Nachfragemenge}}{\text{prozentuale Preisänderung}}$ .

Vgl. Maurer (2006), S. 338

<sup>215</sup> Vgl. Sterzenbach (2003), S. 275, Dennis (2000), S. 75 sowie Álvarez/Cantos/García (2007), S. 366

<sup>216</sup> An dieser Stelle sei angemerkt, dass es aufgrund weiterer Überlegung, die z.B. den Flugzeugtyp, das Service und andere Faktoren mit einschließen, durchaus denkbar ist, dass sich Passagiere auch ohne die Beachtung der Kosten eines Fluges für die Umsteige Verbindung entscheiden.

zen Direktverbindungen und sind bereit, auch einen dementsprechenden Ticketpreis zu zahlen.<sup>217</sup> Hubverbindungen hingegen haben eine längere Reisedauer. Auch Maurer sieht in der längeren Reisezeit und der damit verbundenen Abnahme der Produktqualität einen entscheidenden Nachteil des Hubverkehrs.<sup>218</sup>

Die längere Reisezeit für Passagiere hat auch in anderer Art- und Weise Auswirkung auf Airlines. Aufgrund der durch das Umsteigen bedingten längeren Gesamtreisezeit werden Hub-Verbindungen in Computerreservierungssystemen erst nach Direktverbindungen angezeigt und deshalb auch weniger gebucht.<sup>219</sup> Die Bedeutung dieser Systeme ist aber am Abnehmen – nur mehr ca. 15% der Anfragen in den GDS werden nach Zeit getätigt, während bereits ca. 50% eine Reihung nach Preisen verlangen.<sup>220</sup>

Für die Frage, welche Vor- und Nachteile eine längere oder kürzere Reisezeit den Passagieren bringt, gilt es den Geldwert von Zeit zu bestimmen. Eine Möglichkeit dazu besteht darin, die Reisezeit als ein Teil der Arbeitszeit aufzufassen und somit den Wert der Zeit im Sinne von Opportunitätskosten auf Basis der Arbeitszeit zu bestimmen.<sup>221</sup> Beispielhaft sind in Tabelle 7 zwei Studien zur Zeitwertermittlung angeführt. Dabei wurden in einer von Ramjerdi et al. in Norwegen durchgeführten Studie (erhoben 1995) unterschiedliche Werte für Warte- und Reisezeit bestimmt. Unter Berücksichtigung der Bruttolöhne für Reisen während der Arbeitszeit und Nettolöhnen für Reisen in der Freizeit wurden dabei deutlich höhere Zeitwerte für Geschäfts- als für Privatreisen bestimmt (Vgl. (a) in Tabelle 7).<sup>222</sup> In einer von der US Federal Aviation Administration in Auftrag gegebenen Studie wurden 2000 darüber hinaus Werte für Vorteile durch eine Reisezeitersparnis berechnet. (Vgl. (b)).<sup>223</sup>

[€]/[h]	Wert der...	Privatreise	Geschäftsreise
(a) <sup>1</sup>	Reisezeit	25,00	32,00
	Wartezeit zw. Abfahrten	3,00	11,00
(b) <sup>2</sup>	Zeitersparnis	17,26	29,71

<sup>1</sup> Werte auf Niveau 2009 hochgerechnet aus 1999

<sup>2</sup> Umgerechnet in Euro von US Dollar im Jahr 2000

**Tabelle 7: Wert der Zeit nach verschiedenen Untersuchungen<sup>224</sup>**

Durch die Wartezeit zwischen den Flügen und den bei Hub-Systemen inhärent gegebenen zusätzlichen Start- und Landephasen sind damit Punkt-zu-Punkt Verbindungen eindeutig im Vorteil. Airlines sind sich dessen auch bewusst und bepreisen Umsteigever-

<sup>217</sup> Vgl. Düdden, zitiert bei: de Wit/Burghouwt (2005), S. 6 sowie Abbildung 24

<sup>218</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 408

<sup>219</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 409

<sup>220</sup> Vgl. Binggeli/Pompeo (2006), S. 1

<sup>221</sup> Vgl. Álvarez/Cantos/García (2007), S. 366

<sup>222</sup> Vgl. Bråthen/Eriksen/Hjelle/Killi (2000), S. 156 sowie Ramjerdi et al. (1997), S. iii

<sup>223</sup> Vgl. GRA (2007), S. 1-2

<sup>224</sup> Eigene Darstellung nach Ramjerdi et al. (1997), zitiert bei: Eurocontrol (2009c), S. 16, angepasst von: Bråthen/Eriksen/Hjelle/Killi (2000), S. 156 sowie GRA (2007), 1-2



bindungen in Summe deutlich niedriger, als wenn man die im indirekten Preis inkludierten Flüge getrennt buchen würde. Dies sei mit Tabelle 8 beispielhaft dargestellt:

Typ	Flug 1	Flug 2	Summe	% Fluglinie
<b>Lufthansa LH</b>	<b>VIE - FRA</b>	<b>FRA - CDG</b>		
Gemeinsam	€ 564,00		€ 564,00	100%
Getrennt	€ 687,00	€ 616,00	€ 1.303,00	231%
<b>Lufthansa LH</b>	<b>VIE - MUC</b>	<b>MUC - CDG</b>		
Gemeinsam	€ 565,00		€ 565,00	100%
Getrennt	€ 687,00	€ 583,00	€ 1.270,00	225%
<b>Swiss LX</b>	<b>VIE - ZRH</b>	<b>ZRH - CDG</b>		
Gemeinsam	€ 599,00		€ 599,00	100%
Getrennt	€ 857,00	€ 857,00	€ 1.714,00	286%

Daten: Lufthansa, Swiss; Einfach, Economy Flexibel, Beliebige Uhrzeit, Abrufdatum 28.04.2010

**Tabelle 8: Flugpreise von Wien direkt und über verschiedene Hubs nach Paris bei gemeinsamer und getrennter Buchung am 05.05.2010<sup>225</sup>**

Nachdem, wie beschrieben, die Reisezeit ein wesentliches Kriterium bei der Entscheidungsfindung der Passagiere ist, dürfte diese neben der notwendigen Unterbrechung ein wesentlicher Grund für die geringere Zahlungsbereitschaft für Umsteigeverbindungen sein.<sup>226</sup>

Für Hub-Airlines kann es demnach sinnvoll sein, am Hub vorbeiführende direkte Verbindungen zwischen zwei Städten anzubieten. Nachdem vor allem „höherwertige“ Kunden sich für einen derartigen Service interessieren, kann es sein, dass die durch die Direktverbindung entstehenden kostenseitigen Nachteile durch die zusätzlichen Einnahmen mehr als ausgeglichen werden.<sup>227</sup>

Speziell Multi-Hub Netzwerke bieten genau diesen Reisezeitvorteil von mehreren Hubs aus für eine größere Anzahl an Verbindungen und können damit auf all diesen Strecken höhere Erlöse erzielen. Düdden geht sogar weiter und sieht darin auch einen möglichen Entstehungsgrund für Multi-Hub Netzwerke. Nachdem Flugverbindungen erst ab einer gewissen Anzahl von Passagieren profitabel sind, kann es für eine Airline sinnvoll sein, zusätzliche Transferpassagiere über einen weiteren Flughafen zu führen, um damit zusätzliche Profite zu erzielen: „If demand on the non-hub route is not sufficient to enable operations, it can be rational for the carrier to operate a multi-hub network.“<sup>228</sup> Dadurch würde als Konsequenz, ein zweiter (wenn auch kleinerer) Hub im Netzwerk entstehen. Dieser Effekt ist sehr stark durch die Lokalnachfrage (vor allem von Geschäftskunden) für die Direktverbindung am zweiten Hubkonten bedingt.<sup>229</sup>

<sup>225</sup> Eigene Darstellung nach Austrian Airlines (2010), <http://www.austrian.com>

<sup>226</sup> Vgl. Sterzenbach (2003), S. 275ff

<sup>227</sup> Um attraktiv zu sein, ist dafür eine bestimmte Mindestfrequenz notwendig. Vgl. Düdden (2006), S. 426f

<sup>228</sup> Düdden (2006), 431

<sup>229</sup> Vgl. Düdden (2006), S. 425ff

Zusammenfassend sind also Punkt-zu-Punkt Verbindungen gegenüber Hub-Verbindungen in Bezug auf die Zeit deutlich im Vorteil. Dies gilt sowohl für Single- als auch Multi-Hub Systeme. Nur durch das Angebot schneller Umsteigemöglichkeiten an Hubs besteht die Möglichkeit, im Kampf um Umsteigepassagiere im Vergleich zu Mitbewerbern im Vorteil zu sein.<sup>230</sup> Solche Vorteile können durch eine infrastrukturelle Verbesserung erzielt werden, auf die im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird. Zwar kann sich in Multi-Hub Systemen ein möglicherweise notwendiges Backtracking aufgrund eines ungünstig gelegenen Hubs bei Mehrfachanbindung negativ auswirken, jedoch liegt auch gleichzeitig für viele Verbindungen (auch bei geographisch naheliegenden Hubs) zumindest ein Hub in einer geographisch vorteilhaften Position. Damit verkürzen sich zumindest für manche Frequenzen die Reisezeiten. Im Extremfall könnte es sogar zu einer geographischen Spezialisierung kommen, die durchwegs kürzere bzw. gleich lange Verbindungen wie in Single-Hub Netzwerken zur Folge hätte.<sup>231</sup> Schließlich ist in Multi-Hub Netzwerken, durch das Angebot von Direktverbindungen für eine größere Anzahl von Passagieren, ein höheres Erlöspotential im Vergleich zu Single-Hub Systemen gegeben.

### *Unterschiede in der Flugfrequenz*

Je öfter eine Verbindung zwischen zwei Städten angeboten wird, desto vorteilhafter ist dies für den Passagier. Dementsprechend stellt die Flugfrequenz, also die Anzahl der Flugverbindungen in einem bestimmten Zeitraum (gewöhnlich eine Woche bzw. ein Tag), einen wesentlichen Bestimmungsfaktor der Nachfrage dar. Die Flugfrequenz als entscheidender Qualitätsparameter wurde auch von Jorge-Calderón bestätigt.<sup>232</sup>

Die von Airlines angebotenen Verbindungen auf einer Strecke zwischen zwei Destinationen führen bei Passagieren nicht nur im Flug und bei Verspätungen zu Zeit-Kosten, sondern auch bereits durch das planmäßige Angebot an Frequenzen. Für eine bestimmte Reisestrecke hat jeder Passagier einen bestimmten Wunschzeitpunkt des Abflugs (natürlich in Abhängigkeit von der Reiseroute und Dauer). Wird kein Flug zur gewünschten Zeit angeboten, so entstehen dem Passagier „Verspätungskosten“, die als „Schedule Delay“ bezeichnet werden.<sup>233</sup> Auch diese sind wieder abhängig vom oben beschriebenen „empfundene Zeit/Geld-Verhältnis“.<sup>234</sup> Die Sensitivität von Geschäftskunden in Bezug auf „Schedule Delay“ ist dementsprechend höher als jene von Privatreisenden, weshalb diese auch die Existenz von Verbindungen mit hohen Frequenzen schätzen.<sup>235</sup> Proussaloglou und Koppelman schätzen den Wert einer Stunde „Schedule Delay“ auf 30 Euro für Geschäfts- bzw. 7 Euro pro Stunde für Privatreisende.<sup>236</sup> So besteht ein em-

---

<sup>230</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 230

<sup>231</sup> Vgl. dazu auch Abbildung 17

<sup>232</sup> Vgl. Jorge-Calderón (1997), S. 24f und S. 33

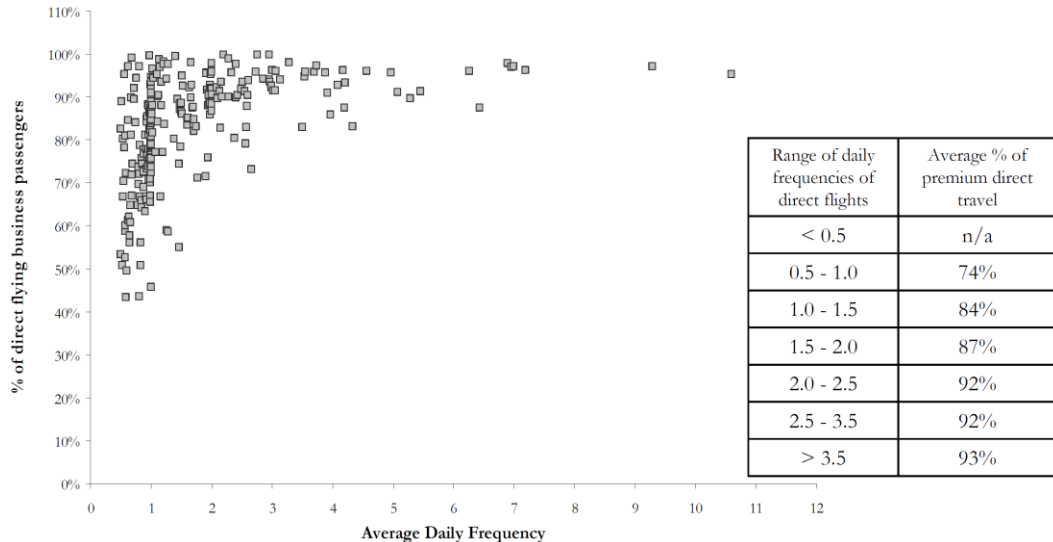
<sup>233</sup> Vgl. Jorge-Calderón (1997), S. 24. Jäggi (2000, S. 258) bezeichnet diese Wartezeit als „Schedule Wait Time“. Auslastungsfaktoren der Flugzeuge bestimmen einen weiteren Verspätungsfaktor für Passagiere. Die hier nicht berücksichtigte zeitliche Verzögerung die einem Passagier wiederfährt, wenn sein gewünschter Flug ausgebucht ist, wird daher als „Stochastic Delay“ bezeichnet. Vgl. Jorge-Calderón (1997), S. 24

<sup>234</sup> Vgl. Wojahn (2002), S. 145

<sup>235</sup> Vgl. Proussaloglou/Koppelman (1999), S. 198

<sup>236</sup> Vgl. Proussaloglou/Koppelman (1999), S. 200

pirischer Zusammenhang zwischen der Anzahl der täglichen Direktverbindungen und dem Anteil an Geschäftskunden, die von der Direktverbindung Gebrauch machen und nicht indirekt über einen Hub fliegen:



**Abbildung 24: Korrelation zwischen den direkt fliegenden Business Passagieren und der Anzahl der täglichen Direktverbindungen (2002)<sup>237</sup>**

In der Grafik ist deutlich zu erkennen, dass je mehr Direktverbindungen zwischen zwei Destinationen angeboten werden, desto mehr Geschäftskunden entscheiden sich auch für diese Verbindung. Ähnliches, wenngleich auch auf niedererem Niveau, zeigt sich auch für Privat-Passagiere.<sup>238</sup> Ebenso ist zu sehen, dass bereits bei einer täglichen Frequenz drei Viertel der höhere Preise zahlenden Passagiere sich für die Direktverbindung entscheiden – dies deckt sich mit dem im vorigen Punkt angesprochenen Faktor der Reise- und Flugdauer. Hohe Frequenzen haben demnach Vorteile beim Marketing einer Flugverbindung.<sup>239</sup> Insgesamt steigt die Zahlungsbereitschaft von Kunden bei einem höheren Angebot an Frequenzen auf einer Verbindung, vor allem im Fall der vom Hub ausgehenden Lokalnachfrage.<sup>240</sup> Dem gegenüber stehen eventuell höhere Kosten aufgrund des möglicherweise notwendigen Einsatzes eines kleineren Fluggeräts und einer größe-

<sup>237</sup> Düdden (2006), S. 424. Die Stichprobe enthält 270 Märkte ab 0,5 Flugverbindungen pro Tag.

<sup>238</sup> Vgl. Düdden (2006), S. 424f. Eine weitere Bestätigung des „Schedule Delay“ gibt Richard (2003, S. 916f) mit einer empirischen Untersuchung, welche die Bequemlichkeit des Flugplans explizit berücksichtigt.

<sup>239</sup> Vgl. Doganis (2002), S. 134

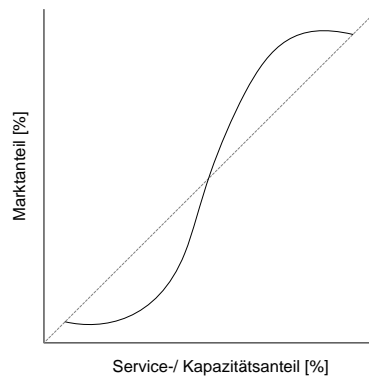
<sup>240</sup> Vgl. Brueckner (2004), S. 292ff.

Adler und Berechman stellen dies in einer theoretischen Untersuchung empirisch fest. Sie zeigen, dass in westeuropäischen Multi-Hub Netzwerken Airlines dazu tendieren mehr Frequenzen mit kleineren Flugzeugen zu höheren Preisen anzubieten. Adler/Berechman (2001), S. 388

Zu dieser erlössteigernden Wirkung von Flugfrequenzen ist noch ein weiterer positiver Effekt hinzuzufügen. Werden in einem Netzwerk insgesamt wenige Frequenzen angeboten, so mindern sich damit die Einsatzmöglichkeiten der zur Verfügung stehenden Ressourcen. Dies führt zu unproduktiven Stillzeiten, ähnlich der Flugzeugauslastung in Wellensystemen. Für die Arbeit erfolgt keine weitere Berücksichtigung dieses Arguments. Vgl. Doganis (2002), S. 133f

ren Anzahl von Flügen. Dieser Kapazität/Frequenz Trade-Off muss individuell pro Route entschieden werden.<sup>241</sup>

Der in diesem Zusammenhang relevante und oft zitierte Effekt der „S-Kurve“ besagt, „dass eine Fluggesellschaft beim Überschreiten einer bestimmten Kapazitätsschwelle auf allen Hub-Routen einen überproportionalen Marktanteil gewinnen wird.“<sup>242</sup> Dieser Zusammenhang tritt dabei sowohl in Bezug auf einzelne Airports, als auch auf die Frequenz auf einzelnen Routen auf und stellt sich wie folgt dar:<sup>243</sup>



**Abbildung 25: Luftverkehrstypische S-Kurve in Bezug auf Service-/Kapazitätsanteil und Marktanteil<sup>244</sup>**

Der Graph macht deutlich, dass eine Fluggesellschaft, die eine Strecke in Bezug auf Frequenzen und/oder Kapazitäten dominiert, einen überproportional hohen Marktanteil erzielt. Die in den 1970er Jahren erkannte S-Kurve besitzt immer noch Erklärungswert und dies vor allem in Märkten, auf denen noch keine wesentliche Konkurrenz durch Low-cost Airlines herrscht. In Märkten in denen Wettbewerb mit Low-cost Anbietern besteht, verschwindet dieser Effekt heutzutage zunehmend. Darauf basierend lässt sich die Empfehlung ableiten, dass in Märkten in denen Konkurrenz mit Low-cost Fluggesellschaften herrscht, die entscheidende Zielvariable für das Management einer Fluggesellschaft immer mehr kostenseitige Effizienz als Flugplanoptimalität wird.<sup>245</sup>

Ein typischer Konflikt, der bei der Planung von Wellen in Hub-and-Spoke Netzwerken auftritt, ist der Abgleich der Nachfrage nach Frequenzen mit den Wellen an den Hub-Flughäfen. Diese Flüge fungieren gleichzeitig als Zubringerflüge für Interkontinentalflüge und müssen daher einem verfügbaren Umsteigefenster<sup>246</sup> entsprechend auf dem Hub landen. Der Abflug sollte wiederum, wie oben dargestellt, so bald als möglich

<sup>241</sup> Vgl. Holloway (2008), S. 438

<sup>242</sup> Jäggi (2000), S. 123

<sup>243</sup> Vgl. Binggeli/Pompeo (2006), S. 1

<sup>244</sup> Eigene Darstellung nach Jäggi (2000), S. 119. Der Service-Anteil spiegelt die Anzahl der angebotenen Frequenzen und damit auch die Attraktivität für besser zahlende Geschäftskunden wider.

<sup>245</sup> Vgl. Binggeli/Pompeo (2006), S. 1f

<sup>246</sup> Auch bezeichnet als „Hit-Fenster“. Jäggi (2000), S. 115. Dies ist gleichzeitig nur dann möglich, wenn genügend Slots und in diesem Sinn Kapazitäten am Hub-Flughafen für die Abwicklung der Flüge vorhanden sind. Vgl. Wojahn (2002), S. 159 sowie Abschnitt 4.2.3, „Infrastrukturbezogene Faktoren“

stattfinden, weshalb nur bedingt Zeit bleibt, um den Abflugzeitpunkt an die Nachfragesituation anzupassen. Insbesondere in Anbetracht der Zielsetzung, dem Passagier genügend attraktive Frequenzen zu einer Destination zu bieten, ergibt sich damit ein Spannungsfeld. Jäggi empfiehlt unter der Ertragsoptimierungsperspektive schwerpunktmäßig die Lokalnachfrage zu berücksichtigen, nachdem diese höhere Preise pro Flug erzielt.<sup>247</sup>

Alles in allem stellt sich die Frage, welcher Netzwerktyp in Bezug auf die angebotenen Flugfrequenzen am vorteilhaftesten ist. Wie unter anderem von Brueckner bestätigt, ist die Frequenz an Flügen in einem Hub-and-Spoke Netzwerk höher, als in einem Punkt-zu-Punkt Netzwerk.<sup>248</sup> Weiters unterstreicht Brueckner, dass die Vorteile einer durch ein Hub-System gegebenen höheren Frequenz die Nachteile der oben beschriebenen längeren Reise- und Flugdauer durchaus ausgleichen können.<sup>249</sup> Für die Auswirkungen in Multi-Hub Systemen gilt es noch weitere Überlegungen anzustellen.

Die bereits angesprochene Möglichkeit der zeitlichen Verzahnung von Knoten auf mehreren Hubs in einem Multi-Hub-System stellt einen wesentlichen Vorteil dieses Netzwerklayouts dar. In diesem Kontext hat dieser zur Folge, dass dem Passagier bei entsprechend optimierter Gestaltung eine höhere Anzahl an Frequenzen zwischen zwei Destinationen angeboten werden kann, als wenn nur ein Hub im Netzwerk existieren würde.<sup>250</sup> Ein wesentlicher Grund dafür lässt sich im zusätzlich abschöpfbaren Lokalnachfragepotential der weiteren Hubs sehen.<sup>251</sup> Destinationen für die eigentlich die Nachfrage bei einer Umsteigeverbindung nicht ausreichen würde, um täglich eine profitable Verbindung anzubieten, können mit Hilfe der „Quasi-Zusammenführung“<sup>252</sup> der Lokalnachfragepotentiale mehrerer Hubs doch mit einer täglichen Verbindung in das Streckennetz aufgenommen werden, was die Attraktivität des Netzwerks entsprechend erhöht.<sup>253</sup> Dies ist insbesondere dann möglich, wenn eine entsprechende Synchronisierung der Hubs in einem Multi-Hub System stattfindet.<sup>254</sup>

---

<sup>247</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 116ff sowie Tabelle 8

<sup>248</sup> Vgl. Brueckner (2004), S. 293. In seinem Modell bestätigt Brueckner diese zentrale These aufbauend auf diesem Artikel vorausgehenden Arbeiten von Brueckner/Zhang (2001) und Berechman/Shy (1998).

<sup>249</sup> Vgl. Brueckner (2004), S. 292 basierend auf Morrison/Winston (1995)

<sup>250</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 405f

<sup>251</sup> Vgl. dazu auch die Darstellungen in „Bedienung asymmetrisch verteilter Nachfrage“

<sup>252</sup> Jäggi (2000), S. 251

<sup>253</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 251

<sup>254</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 250f

Nr.	Abflug	über (Hub)	Aufenthalt	Ankunft	Reisezeit
1	06:00	FRA	02:20	12:00	06:00
2	07:10	MUC	01:05	11:35	04:25
3	07:10	MUC	03:40	14:10	07:00
4	09:15	MUC	01:20	14:10	04:55
5	09:45	ZRH	01:20	14:45	05:00
6	10:20	FRA*	02:20	16:15	05:55
7	12:50	MUC	00:55	17:20	04:30
8	13:45	FRA	00:45	18:10	04:25
9	13:45	FRA*	03:00	20:25	06:40
10	14:45	ZRH	00:45	19:05	04:20
11	16:35	DUS	02:25	22:50	06:15
12	17:15	BRU	01:20	22:45	05:30
13	17:35	MUC	00:50	21:45	04:10
14	18:15	FRA	01:50	23:45	05:30
15	19:15	FRA	00:50	23:45	04:30

\* Eine Flugstrecke bedient durch Spanair

Daten: Lufthansa, Flugdatum Mo 7. Juni 2010, Abrufdatum 29.04.2010

**Tabelle 9: Darstellung der Lufthansa Flugfrequenzen von Prag nach Madrid über verschiedene Hubs<sup>255</sup>**

Wie in der Tabelle ersichtlich, kann Lufthansa mit der gegebenen Synchronisation von Frankfurt und München und einem zusätzlichen Angebot über weitere Hubs für die beliebig ausgewählte Strecke fünfzehn Frequenzen an einem Montag anbieten. Zwar reichen die Reisezeiten von 4:10 bis zu 7:00 Stunden, jedoch ist praktisch alle 1-2 Stunden, von in der Früh beginnend ein Abflug für den Passagier möglich. Mit nur einem Hub wäre eine solche Dichte nur schwer vorstellbar und würde 13 Flüge<sup>256</sup> vom Hub zu den Spokes (Prag und Madrid) benötigen – die Lokalnachfrage an einem einzigen Hub würde voraussichtlich kein solches Potential erlauben. Folglich kann das Multi-Hub System bei entsprechender Gestaltung dem Single-Hub System überlegen sein.

### ***Wahlmöglichkeit des Transferpunktes***

Je mehr Wahlmöglichkeiten ein Passagier bei gleichen Kosten hat, desto besser ist es für ihn. Dies trifft auch auf die Wahl von Flughäfen zu. Für die an dieser Stelle durchgeführte Analyse ist jedoch nicht der Start- oder Endflughafen relevant, nachdem diese bei allen Netzwerktypen angeflogen werden können, sondern ein möglicher Umsteigeflughafen.

Ist für die Reise eines Passagiers ein Umsteigen auf einem Hub-Flughafen notwendig und besteht ein mehrfachangebundenes Multi-Hub System, so hat dieser die Auswahl zwischen mehreren, verschiedenen Hubs als Umsteigeorte (soweit die Verbindungen

<sup>255</sup> Eigene Darstellung. Vgl. dazu auch Maurer (2006), S. 406

<sup>256</sup> Für jeweils zweimal zwei Verbindungen zum und vom Hub wird derselbe Flug verwendet.

auch zeitlich günstig sind).<sup>257</sup> Verschiedene Flughäfen zeigen dabei Unterschiede im Serviceangebot an den Passagier, vor allen in Hinblick auf bequemes und effizientes Umsteigen und der Zusatzdienstleistungen.<sup>258</sup> Damit kann in einem Multi-Hub Netzwerk die Zufriedenheit des Passagiers verbessert werden. Hierbei kann ein Hub in Bezug auf alle Kategorien besser als ein anderer sein, oder nur relativ, in Bezug auf einzelne für den individuellen Passagier wichtige Faktoren. Im Sinne einer Ausgeglichenheit ist sicherlich letzteres für eine Airline zu bevorzugen.

Am Flughafen selbst können die Transferströme optimal gestaltet werden, um den Passagieren im Sinne der bereits angesprochenen „Minimum Connecting Times“ ein schnellstmögliches Umsteigen zu ermöglichen. Entstehen Wartezeiten, ergibt sich in Bezug auf diese ein erhebliches Verbesserungspotential. Dabei können die durch den Passagier empfundene Wartezeit, die Erwartungen des Passagiers an dieselbe, die Gründe der Wartezeit oder auch die „Wartegerechtigkeit“ verbessert werden.<sup>259</sup>

Nachdem eine Airline mit einem Multi-Hub System sicherlich danach bestrebt sein wird, ihren Passagieren auf jedem ihrer Hubs einen guten Service zu bieten, werden dementsprechend Unterschiede zwischen Hubs in der Praxis eher gering sein. Aus diesem Grund wird anderen in diesem Abschnitt genannten Argumenten mehr Bedeutung zukommen.

### ***Angebot an Flugverbindungen***<sup>260</sup>

Die Möglichkeit dem Kunden eine größere Auswahl von Destinationen anzubieten, stellt ein wesentliches Element in der Netzwerkgestaltung von Airlines dar. Die größere Anzahl an Destinationen ist in erster Linie aus einer Marketing-Perspektive interessant.<sup>261</sup> Sie erhöht die Marktausschöpfungsmöglichkeiten und erhöht gleichzeitig auch die Attraktivität eines angebotenen Vielfliegerprogramms.<sup>262</sup> Vergleicht man die verschiedenen Netzwerktypen, so sind Hub-Verbindungen im Vergleich zu Punkt-zu-Punkt Verbindungen im Vorteil. Dies begründet sich auf zwei Argumenten, einerseits können in einem Hub-Netzwerk bei der gleichen Anzahl von Flugverbindungen mehr Destinationen angeboten werden und andererseits führen die oben beschriebenen Netzwerkeffekte und die Möglichkeit des Einsatzes von abgestimmten Fluggerät dazu, dass Destinationen angesteuert werden können, für die sich ansonsten keine wirtschaftliche Anknüpfung lohnen würde.<sup>263</sup> Beides ist eine Folge des in Abschnitt 2.2.2 dargestellten Multiplikatoreffekts.<sup>264</sup> Der theoretischen Zahl an Verbindungen stehen weitere, praktische Überlegungen entgegen. So sind viele Destinationen aufgrund des für sie notwendigen Backtrackings<sup>265</sup> nicht sinnvoll anbietbar.<sup>266</sup>

<sup>257</sup> Vgl. dazu z.B. auch Tabelle 9, in der Verbindungen über fünf verschiedene Hubs dargestellt sind.

<sup>258</sup> Vgl. dazu Ringbeck et. al (o.J.), S. 1

<sup>259</sup> Vgl. Bunse (2000), S. 63ff

<sup>260</sup> Hierbei ist die Anzahl der von einer Fluglinie angebotenen Start-/Ziel-Verbindungen gemeint.

<sup>261</sup> Jäggi (2000, S. 122) bezeichnet diese subsummierend als „Marketing Economies of Scale“.

<sup>262</sup> Vgl. Pompl (2007), S. 169

<sup>263</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 408

<sup>264</sup> Vgl. dazu auch Mayer (2001), S. 16ff

<sup>265</sup> Vgl. oben

<sup>266</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 122

Wie im Abschnitt „Notwendige Anzahl an Verbindungen und Flügen“ dargestellt, kann in Analogie zur Frequenzzahl die Mehrfachverbundenheit von Destinationen in einem Multi-Hub Netzwerk nicht unbedingt einen Nachteil gegenüber einem Single-Hub Netzwerk darstellen. Vielmehr kann die zusätzliche Lokalnachfrage nach Direktverbindungen vom zweiten (oder weiteren) Hub dazu führen, dass noch weitere Destinationen in das Streckennetz aufgenommen werden können, die sonst nicht profitabel anfliegbar wären. Hier geht es um keine reine Frequenzbetrachtung. Erst durch die zusätzliche Nachfrage des zweiten Hubs wird es somit profitabel, diese Destinationen zu bedienen.<sup>267</sup>

Zusammenfassend führt dies dazu, dass das Angebot an verschiedenen Flugverbindungen in Multi-Hub Systemen in Abhängigkeit der wirtschaftlichen Gegebenheiten möglicherweise über dem eines Single-Hub Netzwerks liegt, wenn eine Start-/Ziel-Analyse durchgeführt wird. Da jede Flugverbindung einen zusätzlichen Flug verlangt und keine Kombinationseffekte wie bei Hub-Verbindungen erzielt werden, schneidet das Punkt-zu-Punkt Netzwerk am Schlechtesten ab.

#### 4.2.3 Infrastrukturbezogene Faktoren



Die Gestaltung des Netzwerks ist zudem in entscheidender Art und Weise von infrastrukturbezogenen Faktoren abhängig. Dabei handelt es sich um Faktoren die sowohl die Kosten als auch die operativen Möglichkeiten einer Airline beeinflussen. Auf diese wird in der Folge näher eingegangen.

##### *Kapazitätsbeschränkungen in der Infrastruktur*

Der Luftverkehr einer Airline ist durch zwei extern gegebene Kapazitätslimits eingeschränkt. Zum einen sind dies Einschränkungen auf Airports – sowohl am Boden, als auch im zum Flughafen gehörenden Luftraum. Zum anderen ist auch der darüber liegende Luftraum weiteren Limits unterworfen. Diese sind bei der Netzwerkgestaltung zu beachten.

##### *Kapazitätsbeschränkungen auf Airports*

Ein wesentlicher Grund für die Entstehung von Multi-Hub System liegt für viele Autoren in den beschränkten Kapazitäten auf den Flughäfen in Europa.<sup>268</sup> Grundsätzlich sind durch die Beschränkungen auf den Flughäfen alle Airlines betroffen. Die Einschränkungen sind durch infrastrukturbezogene Kapazitätsbeschränkungen in vier Bereichen gekennzeichnet:<sup>269</sup>

- Start- Landebahnsystem mit Rollwegen
- Vorfeld
- Terminals und Frachtanlagen
- Landseitige Verkehrsanbindungen

<sup>267</sup> Vgl. dazu auch Jäggi (2000), S. 251

<sup>268</sup> Vgl. dazu z.B. Dennis (2005), S. 178 und Wojahn (2002), S. 159

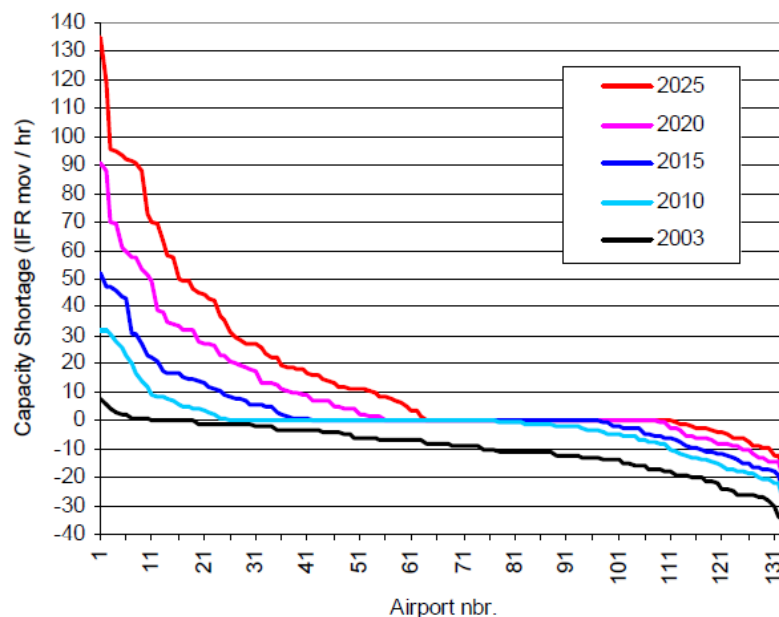
<sup>269</sup> Vgl. Sterzenbach/Conrady (2003), S. 152



Ein Grund für diese Kapazitätsbeschränkungen auf den Flughäfen liegt darin, dass die meisten Airports in Europa historisch gewachsen sind und in der Gestaltung oft an den aktuellen Bedürfnissen der Airlines ausgerichtet.<sup>270</sup>

Kapazitätsbeschränkungen im Airport-nahen Luftraum beziehen sich zum Beispiel auf Anflugrouten, die Wettersituation oder weitere Umweltfaktoren. Sie können oft nur sehr schwer auf die Zukunft bezogen dargestellt werden. So ist die aktuelle Wettersituation definitionsgemäß stochastisch und lässt sich nur bis zu einem gewissen Grad vorhersagen.<sup>271</sup> Langjährige Durchschnitte können bei der Planung und Flughafen-Selektion (vor allem Hub-Selektion) helfen, stellen jedoch immer nur eine Annäherung dar.

Die Kapazitätsbeschränkungen äußern sich in einem Mangel an verfügbaren Slots<sup>272</sup>, der dazu führt, dass Flughäfen nicht wie gewünscht angeflogen werden können. In Anbetracht des zu erwartenden Wachstums des Luftverkehrs in den nächsten Jahren, sind damit erhebliche Limitierungen des Flugverkehrs zu erwarten. Die zu erwartenden Probleme lassen sich anhand aktueller Berechnungen sehr deutlich in nachfolgender Abbildung 26 erkennen:



**Abbildung 26: Kapazitätsbeschränkungen an europäischen Flughäfen 2003 bis 2025 bei Erreichen der maximalen Ausbaustufen<sup>273</sup>**

Die Grafik beschreibt in einem Wachstumsszenario des europäischen Luftverkehrs die Kapazitätsbeschränkungen auf den 133 größten europäischen Flughäfen im Jahr 2003.

<sup>270</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 81

<sup>271</sup> Vgl. dazu auch Ball et al. (2007), S. 3

<sup>272</sup> Als ein Slot „wird der einer Flugnummer zugeteilte Start-/Landezeitraum auf einem Flugplatz bezeichnet.“ Sterzenbach/Conrady (2003), S. 269

<sup>273</sup> ECAC/Eurocontrol (2004), S. 35. Das Szenario setzt voraus, dass alle Flughäfen bis zur maximal möglichen Kapazität ausgebaut werden. Der angenommene Wachstumsfaktor des Luftverkehrs entspricht dabei 2,5. Dies entspricht einem Wachstum des Luftverkehrs um 250% zwischen 2003 und 2025.

Dabei werden die Limits in fünf verschiedenen Schritten dargestellt. Während 2003 lediglich zwei Flughäfen Kapazitätsprobleme in der maximal gegebenen Ausbaustufe zeigten, werden es im Jahr 2025 über 60 Flughäfen sein. Auf zumindest zehn von ihnen werden 2025 über 60 IFR-Bewegungen<sup>274</sup> pro Stunde nicht abgewickelt werden können.

Wesentliche europäischen Hubs sind heute bereits in ihren Kapazitäten sehr stark ausgelastet und werden es auch in Zukunft bleiben. Zwar ist der Anteil den ein zentraler Hub-Carrier auf diesen ausmacht, meist erheblich, jedoch nicht vollständig kapazitätserschöpfend.<sup>275</sup> Europäische Hubs werden aber aufgrund ihrer meist nationalen Bedeutung auch von vielen nicht nationalen Fluggesellschaften angefliegen. Damit ist den Hub-Fluggesellschaften eine natürliche Grenze des Wachstums auf diesen Flughäfen gesetzt.

Zusätzlich ist ein weiterer Faktor zu beachten. Die Ausgestaltung von Hubs in Wellen hat zur Folge, dass die Auslastung der Kapazitäten eines Flughafens bei jeder Welle hoch, dazwischen jedoch oft relativ niedriger ist.<sup>276</sup> Damit führen Wellen zu Spitzenbelastungen (von nur einer Airline), die einen Flughafen in den Spitzenzeiten schon wesentlich früher an seine Kapazitätslimits bringen können.<sup>277</sup> Ein Ausgleich am selben Flughafen ist nur durch eine Verteilung der Belastung über eine längere Zeitspanne und eine damit einhergehende Verflachung der Wellen möglich, wie dies zum Beispiel in London Heathrow der Fall war und ist.<sup>278</sup> Sinnvolle Transferverbindungen sind dann aber nur bei einer ausreichend hohen Anzahl an Flügen herstellbar.

Zur Lösung des Problems beschränkter Flughafenkapazitäten werden in der Literatur vor allem drei verschiedene Lösungsvorschläge diskutiert. Ein erster zielt auf den Ausbau bestehender Flughäfen durch zusätzliche Landebahnen ab, was angesichts starker Gegenbewegungen der Bevölkerung und Platzmangel jedoch immer schwieriger wird.<sup>279</sup> Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verbesserung der Steuerung der Luftbewegung durch neue Systeme und Technologien. Schließlich besteht noch die Option, bestehende Kapazitäten mit Hilfe neuer Allokationsmechanismen anders aufzuteilen<sup>280</sup>. Alles in allem zeugen insbesondere die schwierigen Möglichkeiten der Ausweitung bestehender Kapazitäten auf Airports von den massiven Beschränkungen, denen Airlines

---

<sup>274</sup> IFR-Flüge sind Flüge, die nach Instrumentenflugregeln durchgeführt werden.

<sup>275</sup> Vgl. dazu auch Tabelle 10 weiter unten.

<sup>276</sup> Dies unter der Annahme, dass ein Hub von einer Hub-Airline dominiert wird und die zwischen einzelnen Wellen vorhandenen Zeitfenster nicht durch das Verkehrsaufkommen anderer Airlines kompensiert werden.

<sup>277</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 82 sowie Holloway (2008), S. 242

<sup>278</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 76. Auch Lufthansa geht bereits ähnliche Wege und hat es gemeinsam mit dem Flughafen Frankfurt in einem als „Depeaking“ bezeichneten Prozess geschafft, durch eine Senkung der maximalen Spitzen an Anflügen, die Summe der Anflüge pro Stunde insgesamt zu erhöhen. Trotzdem bleibt eine Wellenstruktur erhalten. Vgl. Klingenberg (2005), S. 180

<sup>279</sup> Nichtsdestotrotz wird es in den nächsten Jahren zu Erweiterungen der Landebahnssysteme in z.B. Paris und Frankfurt kommen. Vgl. Holloway (2008), S. 244

<sup>280</sup> Bisher wurden Slots vor allem mit Hilfe des „Grandfathering“ vergeben. Fluggesellschaften die in einer Periode bereits ein bestimmtes Landefenster an einem Flughafen genutzt haben, besitzen auch in der darauffolgenden Periode ein Anrecht auf dieses. Werden sie hingegen nicht genutzt (unter 80%), so verliert die Airline diese Slots. Vgl. Sieg (2009), S. 1f

an Hubs gegenüberstehen.<sup>281</sup> Neben der Verwendung von zeitlich ungünstig gelegenen Slots verbleibt damit lediglich die Eröffnung eines weiteren Hub-Airports als Option. Damit entstehen Multi-Hub Systeme, die somit zur Umgehung der Kapazitätsproblematik an Flughäfen eingesetzt werden. Hierzu wird beispielsweise oft die Eröffnung des Hubs in München, neben Frankfurt, durch Lufthansa argumentiert und dieser als „Reliever Hub“<sup>282</sup> bezeichnet.<sup>283</sup> Durch die Verteilung der Last (Wellen) auf mehrere Hubs kann eine deutliche Reduktion der Kapazitätsbelastung erzielt werden.

Die Sicherung von Slots an einem weiteren Hub-Airport kann in einem Multi-Hub System zusätzliche, strategische Vorteile im Sinne einer Sicherung knapper Ressourcen bringen.<sup>284</sup>

Auch wenn bei einem Punkt-zu-Punkt Streckennetz wesentliche Flughäfen vorhanden sind, müssen für die transportierten Passagiere keine Transferrelationen über Flughäfen abgebildet werden. Damit sind diese Airlines in der Gestaltung des Netzwerks freier und müssen nicht auf weiterreisende Passagiere anderer Flüge ihrer Airline Rücksicht nehmen. Folglich können einerseits sehr stark beflogene Airports vermieden und andererseits Knotensysteme umgangen werden. Dies führt dazu, dass Kapazitätsbeschränkungen von Flughäfen bei einem Punkt-zu-Punkt Netzwerk zwar berücksichtigt werden müssen, jedoch mit diesem Problem wesentlich flexibler umgegangen werden kann.

#### *Kapazitätsbeschränkungen in der Luft*

Die Kapazitätsbeschränkungen in der Luft sind hauptsächlich durch die Inanspruchnahme der Luftverkehrssicherung (ATC) bedingt. Auch diese hat nur eine begrenzte Kapazität und kann nur eine bestimmte Anzahl an Flügen in einer definierten Zeitspanne abwickeln.<sup>285</sup> Der Luftraum ist zwecks einfacher Kontrollierbarkeit in verschiedene Sektoren untergliedert, in denen eine bestimmte maximale Anzahl an Flugbewegungen in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Kapazität an Luftraum-Controllern möglich ist. Wie viele Bewegungen ein einzelner Controller genau bewältigen kann, ist von Luftraum- und Verkehrsspezifika sowie anderen operationalen Beschränkungen abhängig. Um den Verkehr bewältigbar zu machen, wird der Verkehr im Sektor im Weiteren in gewissen Bahnen strukturiert und gelenkt.<sup>286</sup>

Luft-Kapazitäten sind im Moment durch die mangelnde Effizienz der technischen Luftfahrtkontrollenrichtungen bedingt. Trotz der theoretisch gegebenen technischen Möglichkeiten zur Verbesserung der Systeme behindern politische und institutionelle Diskussionen die Vereinheitlichung des Luftraums. So gibt es in Europa 47 zivile und militärische Luftfahrtkontrolloperatoren, die auf Basis einer EU-Initiative<sup>287</sup> bis 2020 in drei Phasen konsolidiert werden sollen. Dem gegenüber steht der Druck nationaler Regie-

---

<sup>281</sup> Vgl. Holloway (2008), S. 244ff

<sup>282</sup> Maurer (2006), S. 403

<sup>283</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 403

<sup>284</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 232f. Die Frage der Ressourcensicherung ist dabei auch im Zusammenhang mit der weiter unten im Abschnitt „Bedienung asymmetrisch verteilter Nachfrage“ diskutierten Bedeutung der Lokalnachfrage zu sehen.

<sup>285</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 408

<sup>286</sup> Vgl. Ball et al. (2007), S. 17f

<sup>287</sup> „Single European Sky“. Holloway (2008), S. 247

rungen und der bestehenden Operatoren, die sich nicht mit dadurch bedingten Machtverlusten zufrieden geben wollen.<sup>288</sup>

Alles in allem treten etwa zehn Prozent aller primären Abflug-Verspätungen während des Fluges „en-route“ auf. Dabei ist der Großteil derselben auf Kapazitätsbeschränkungen in den Luftfahrkontrollenrichtungen zurückzuführen.<sup>289</sup>

Zusammenfassend sind die Einschränkungen durch Kapazitätsprobleme in der Luft als eher gering im Vergleich zu den Beschränkungen auf Flughäfen einzuschätzen. Dies insbesondere deshalb, da für den Flug von A nach B alternative Routings bestehen und somit Kapazitätsschwierigkeiten umgangen werden können.<sup>290</sup> Tendenziell kann jedoch die These aufgestellt werden, dass die Luftraum-Sektoren um einen zentralen Hub einer wesentlichen Airline eher belastet sind, als dies bei einem Punkt-zu-Punkt Netzwerk der Fall wäre. Daher dürfte auch bei einem Multi-Hub System die Anzahl der Sektor-Bewegungen eher abnehmen, was als leichter Vorteil gegenüber dem Single-Hub System interpretiert werden kann.

### ***Komplexitätskosten an Flughäfen***

Die Definition von Komplexitätskosten ist vom Kontext abhängig. „Komplexitätskosten sind deshalb relativ zu einem Ausgangskomplexitätsgrad zu definieren. Komplexitätskosten in Bezug auf eine bereits bestehende Komplexität sind die zusätzlichen Kosten, die aufgrund der Bewältigung einer erhöhten Komplexität entstehen.“<sup>291</sup> Zusätzliche Komplexität entsteht im Luftverkehr an Flughäfen durch zusätzliche Flüge und an Hubs Speziell durch zusätzliche Umsteigepassagiere. Im Luftverkehr werden als Komplexitätskosten in Bezug auf Flughäfen deshalb in erster Linie Verspätungen und Störungen angeführt.<sup>292</sup>

Komplexitätskosten von Flughäfen und insbesondere Hubs nehmen mit der Größe desselben zu oder erreichen ab einer bestimmten Größe ein nicht mehr zu akzeptierendes Ausmaß.<sup>293</sup> Dies sei mit Abbildung 27 veranschaulicht:

---

<sup>288</sup> Vgl. Holloway (2008), S. 246f sowie Sterzenbach/Conrady (2003), S. 122ff

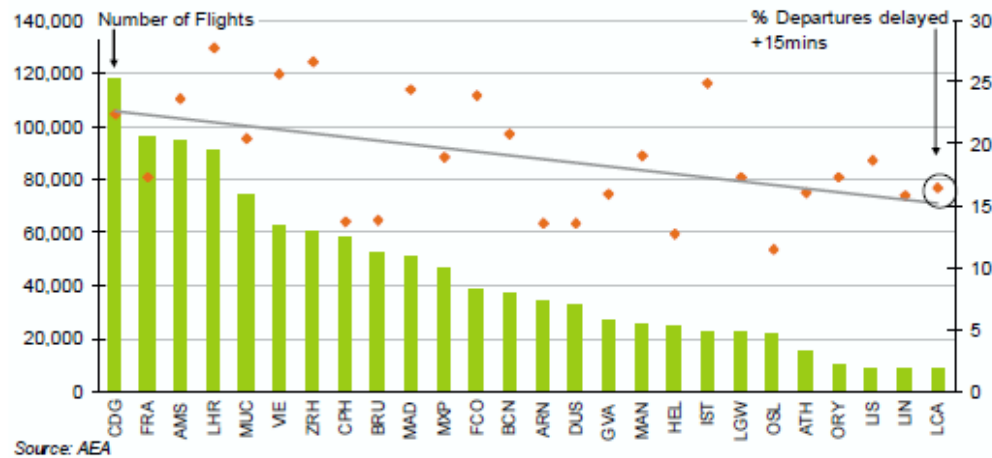
<sup>289</sup> Vgl. Eurocontrol (2009b), S. 36

<sup>290</sup> Vgl. Ball et al. (2007), S. 18f

<sup>291</sup> Olbrich/Battenfeld (2005), S. 163

<sup>292</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 9

<sup>293</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 9f



**Abbildung 27: Verspätungen von Mitgliedsairlines der AEA an wesentlichen Flughäfen im Vergleich zur Flughafengröße (2004)<sup>294</sup>**

Deutlich erkennbar ist der grundsätzlich lineare Zusammenhang zwischen der Größe des Flughafens und des Prozentsatzes an Flügen, welche signifikant verspätet sind. Weiters zeigen Santos und Robin in ihrer Untersuchung europäischer Hub-Flughäfen, dass mittlere Hubs etwas geringere Verspätungen als kleine aufweisen, große jedoch deutlich größere Verspätungen als mittlere verursachen. Die durchschnittliche Verspätung beträgt nach ihnen dabei für Hubs mit mehr als 70 Destinationen ca. zwei Minuten beim Start- und vier Minuten beim Zielflughafen. Bei mittleren Hubs mit 45-69 Destinationen sind es respektive eineinhalb und eine Minute(n).<sup>295</sup>

Insbesondere in Wellensystemen auftretende Spitzenbelastungen führen oft zu temporären Überbelastungen, die weitere Komplikationen im Streckennetz zur Folge haben.<sup>296</sup> Treten Verspätungen und Störungen auch nur in einer Welle am Hub auf, so können sich die Auswirkungen über eine längere Zeit im Netzwerk noch bemerkbar machen, nachdem gleichzeitig eine hohe Anzahl an Flügen betroffen ist. Ein wesentlicher Grund dafür liegt vor allem in Anschlussflügen und damit verbundenen Problemen durch zusätzliche Wartezeiten oder Ausfälle.<sup>297</sup> Diese Überbelastungen können dabei sowohl die Umsteigezeiten von Passagieren, als auch die minimalen Turnaround-Zeiten der Flugzeuge negativ beeinflussen.<sup>298</sup>

Als weitere Beispiele für Komplexitätskosten können in diesem Zusammenhang auch Bürgerinitiativen und -bewegungen genannt werden. So wurden beispielsweise am Flughafen Zürich deutliche Ängste geäußert, dass der Flughafen zu einem Mega-Hub

<sup>294</sup> AEA (2005), S. 3

<sup>295</sup> Vgl. Santos/Robin (2010), S. 399. In einer von Bhadra angeführten Untersuchung sind die Effekte geringer: „Thus, a 20%-point increase in airport concentration, authors found, led only to a 0.3-1.4-min decrease in travel time for all flights at the airport [...]” Bhadra (2009), S. 834

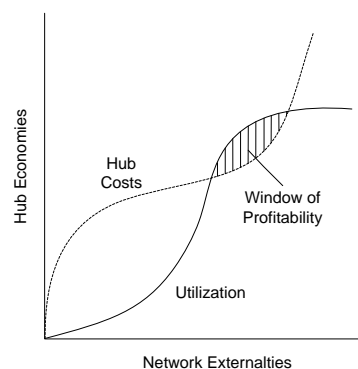
<sup>296</sup> Vgl. Maurer (2006), S. 408

<sup>297</sup> Vgl. Pompl (2007), S. 170

<sup>298</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 75

werden könnte.<sup>299</sup> Darüber hinaus sind mit der Optimierung eines Hubs Kosten verbunden.<sup>300</sup> Weiters sind auch Terminalkapazitäten beschränkt. Damit können ab einer bestimmten Größe nicht mehr alle Flüge in einem Terminal abgewickelt werden, was dazu führt, dass die minimalen Umsteigezeiten für Passagiere sprunghaft ansteigen nachdem Passagiere beim Umsteigen Terminals wechseln müssen. Der Unterschied kann mit ca. einer halben Stunde an zusätzlichem Zeitaufwand beziffert werden.<sup>301</sup>

Die Konsequenzen und kostenmäßige Einordnung der Komplexitätskosten lassen sich sehr gut mit einer Darstellung von Jäggi visualisieren, die mit den gegenläufigen Effekten von Hub-Kosten und S-Kurven-Effekten der Hub-Nutzung jenen Bereich zeigt, der als „Fenster der Profitabilität“ bezeichnet wird:



**Abbildung 28: Das Fenster der Profitabilität an Hubs<sup>302</sup>**

Deutlich zu erkennen ist, dass es nur einen bestimmten Bereich gibt, in dem die Nutzung eines Hubs für eine Fluggesellschaft von Vorteil ist. Erst ab einer gewissen Nutzung des Hubs inklusive dem Angebot von Transfers rentieren sich die Kosten desselben, wobei diese bei wachsendem Netzwerk am Ende stark steigend sind. Auf der einen Seite zeigt diese Grafik damit deutlich, dass ein Hub nur bis zu einer gewissen Auslastung profitabel betrieben werden kann und auf der anderen Seite aber auch, dass sich ein Hub erst ab einer bestimmten Größe lohnt. Bei zu geringer Auslastung wird das „Fenster der Profitabilität“ unerreichbar. Alles in allem bedeutet dies, dass ein Hub eine bestimmte kritische Größe erreichen muss, um profitabel zu sein, jedoch gleichzeitig auch nicht zu groß im Sinne der Komplexitätskosten werden darf.<sup>303</sup>

Komplexitätskosten und die damit resultierenden Verspätungen betreffen auch die Nachfrage. Kann aufgrund langwieriger und unsicherer Umsteigeprozesse zahlungswillige Geschäftsreisende kein entsprechendes Angebote mehr offeriert werden, so werden diese auf alternative, oft Direktverbindungen ausweichen, falls solche offeriert werden. Mit der Zeit etablieren sich unter Umständen weitere Hubs mit geringer Komplexität

<sup>299</sup> Vgl. Koller/Müller (2007), S. 1ff

<sup>300</sup> Jäggi (2000), S. 115

<sup>301</sup> Vgl. Dennis (2000), S. 81

<sup>302</sup> Eigene Darstellung nach Grin (1998), S. 79, zitiert bei: Jäggi (2000), S. 240

<sup>303</sup> Vgl. dazu auch Jäggi (2000), S. 240f

und attraktiven Angeboten für dieses Segment. Jäggi bezeichnet dieses Phänomen als „By-Pass Hubbing“<sup>304</sup>. In den USA konnte man dies bereits feststellen. Ein zu hohes Maß an Hubbing, auch als „Overhubbing“<sup>305</sup> bezeichnet, eröffnet Mitbewerbern die Chance mit einer Strategie der Hub-Vermeidung am Markt Fuß zu fassen.<sup>306</sup>

Nehmen Komplexitätskosten von Hub-Flughäfen jedoch nicht linear sondern kubisch oder exponentiell zu, so sind zwei kleinere Hubs gegenüber einem großen im Vorteil. Nachdem nahe der Auslastungsgrenze häufig nicht mehr lineare Kostenverläufe anzutreffen sind (steigende Grenzkosten, siehe Abbildung 28), könnte dies auch für Mega-Hubs vermutet werden, die knapp an der Grenze des Möglichen operieren. Insoweit dürften Multi-Hub Systeme gegenüber Single-Hub Netzwerken einen Vorteil besitzen – auch wenn es wie Düdden einwirft zu einer Duplizierung der Komplexitätskosten kommt.<sup>307</sup> Punkt-zu-Punkt Systeme jedoch müssen sich in deutlich geringerem Ausmaß mit dem Problem von Komplexitätskosten auseinandersetzen.

### ***Hub-Fixkosten***

Die Kosten für die Etablierung eines Hub-Airports gehen über jene zur Etablierung einer normalen Destination hinaus. Diese zusätzlichen Kosten zur Hub-Etablierung werden hier als Hub-Fixkosten bezeichnet. Einerseits sind ausgereifte und kompliziertere Einrichtungen nötig und andererseits sind Kosten für verschiedenste Einrichtungen an einem Hub-Airport in der Regel höher, als an einem „normalen“, schwächer genutzten Flughafen.<sup>308</sup> Dabei sind zwei verschiedene, sich ergänzende Arten zu unterscheiden. Auf der einen Seite fallen Investitionsausgaben zur Errichtung der notwendigen Infrastruktur an und auf der anderen Seite sind regelmäßige Ausgaben im Zuge eines Leasing- oder Mietvertrages zu tätigen. Die Entscheidung um Investitionen und Miete bzw. Lease ist grundlegend und von zahlreichen Faktoren abhängig. Neben den betriebswirtschaftlichen Überlegungen sind auch politische und standortbedingte Einschränkungen zu beachten.

Die Investitionsausgaben, welche für die Etablierung eines Hubs notwendig sind, sind vielfältig. Es gilt ein effizientes System für den Transfer von Passagieren und deren Gepäck zu installieren, sowie Slots für Flüge am Flughafen zu erhalten.<sup>309</sup> Darüber hinaus fallen noch wesentliche Kosten für initiale Werbemaßnahmen und operative Tätigkeiten am Hub sowie für die Installation einer notwendigen Infrastruktur (z.B. Hub-Kontrollzentrum, etc.) an.<sup>310</sup> Wurde einmal in die Infrastruktur investiert, so ist diese im Prinzip nur schwer bis unverkäuflich.<sup>311</sup>

Neben den einmal fälligen Investitionsmaßnahmen (mit laufenden Abschreibungen) fallen zudem laufende Kosten für die Miete verschiedenster für den Flugbetrieb not-

<sup>304</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 246

<sup>305</sup> Jäggi (2000), S. 239

<sup>306</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 239

<sup>307</sup> Vgl. Düdden, zitiert bei: de Wit/Burghouwt (2005), S. 5

<sup>308</sup> Vgl. dazu auch Butler/Huston (1989)

<sup>309</sup> Vgl. Barla/Constantatos (2005), S. 706

<sup>310</sup> Vgl. Oum/Zhang/Zhang (1995), S. 840

<sup>311</sup> Vgl. Butler/Huston (1989), <http://findarticles.com/>

wendiger Einrichtungen an. Am Hub Airport fallen regelmäßig Gebühren für Gates, Ticketschalter und Büroflächen an, die an Flughäfen, welche für Hubs geeignet sind, in der Regel höher sind als auf anderen Flughäfen. Dabei können gewisse Kosten aufgrund langer Lease-Zeiten den Charakter von Sunk-Kosten aufweisen.<sup>312</sup>

Als Indikation für die Höhe der Kosten für die Einrichtung eines Hubs soll an dieser Stelle Bezug auf das von Lufthansa verwendete Terminal 2 am Münchner Flughafen genommen werden. Für dieses konnte sich Lufthansa (und für ihre Partnerfluggesellschaften) durch die Beteiligung beim Bau ein ausschließliches Nutzungsrecht sichern.<sup>313</sup> Die Investitionskosten für das von Lufthansa verwendete Terminal 2 am Münchner Flughafen, der zugehörigen mobilen Vermögensgegenstände und der Infrastruktur betrugen 1,5 Mrd. Euro, wobei die Bilanzierung von 1.140,1 Mrd. Euro in Objektgesellschaften erfolgte an denen die Lufthansa zu 40% beteiligt ist. Damit trägt die Lufthansa auch indirekt die entsprechenden Abschreibungsaufwendungen über die Jahre zu 40%.<sup>314</sup> Im Jahr 2003 betrugen die Vermietungserlöse der Flughafen München Terminal 2 Immobilien-Verwaltungsgesellschaft ab der Inbetriebnahme am 29. Juni 2003 32 Millionen Euro. Demnach dürften sich die jährlichen Mieten für ein Terminal der Größe des Terminal 2 in München auf in etwa 64 Millionen Euro belaufen – ohne dass an dieser Stelle eine genaue Abschätzung der inkludierten Services erfolgen könnte.<sup>315</sup>

Vergleicht man Single- und Multi-Hub Netzwerke, so ist zu beachten, dass sich zusätzliche Hubs in einem Multi-Hub System kostenmäßig nicht unbedingt deutlich negativ auswirken müssen. Würde man nur einen Hub betreiben, so müsste man auf diesem hohe Kapazitäten (z.B. Gates bereitstellen). In einem Multi-Hub Netzwerk hingegen verteilen sich diese Kapazitäten auf mehrere Flughäfen. Lediglich Einrichtungen wie zum Beispiel ein „Hub Control Center“ oder Transferschalter sind mehrmals einzurichten. Durch die Aufteilung auf mehrere Hubs gehen jedoch auch kostenseitige, infrastrukturbezogene Größenvorteile verloren.

Alles in allem vervielfachen sich die Hub-Fixkosten nicht automatisch mit der Anzahl der Hubs im Netzwerk. Demnach ist das Punkt-zu-Punkt Netzwerk am Günstigsten, gefolgt vom Single-Hub und schließlich, mit geringem Abstand, dem Multi-Hub System.

---

<sup>312</sup> Vgl. Butler/Huston (1989), <http://findarticles.com/>

<sup>313</sup> Vgl. Flughafen München (2009b), S. 46

<sup>314</sup> Vgl. Flughafen München (2004), S. 49.

Lufthansa-Beteiligung zu 40%: Immobiliengesellschaft (Gebäude Terminal 2) 867,8 Mio. € + Terminal 2 Betriebsgesellschaft (Mobile Wirtschaftsgüter) 272,3 Mio. €. Weiters: Flughafen München GmbH (Infrastruktur Terminal 2) 359,9 Mio. €

Noch teurer waren im Vergleich die Investitionskosten für das Terminal 5 am Londoner Flughafen Heathrow. Diese betrugen ca. 3,7 Mrd. Euro. Vgl. Werdigier (2007), <http://www.nytimes.com>

<sup>315</sup> Vgl. Flughafen München (2004), S. 34. Die Immobilien-Verwaltungsgesellschaft ist eine gemeinsame Gesellschaft der Konzernmutter des Flughafen Münchens und einer 100%igen Holdingtochter der Lufthansa. Die Vermietung erfolgt indirekt über eine Betriebsgesellschaft, die ebenfalls im Besitz des Flughafen Münchens und der Lufthansa steht und als Generalmieterin auftritt. Trotzdem sind die dargestellten Kosten ein Indiz für jährlichen Mietkosten eines internationalen Hub-Terminals.



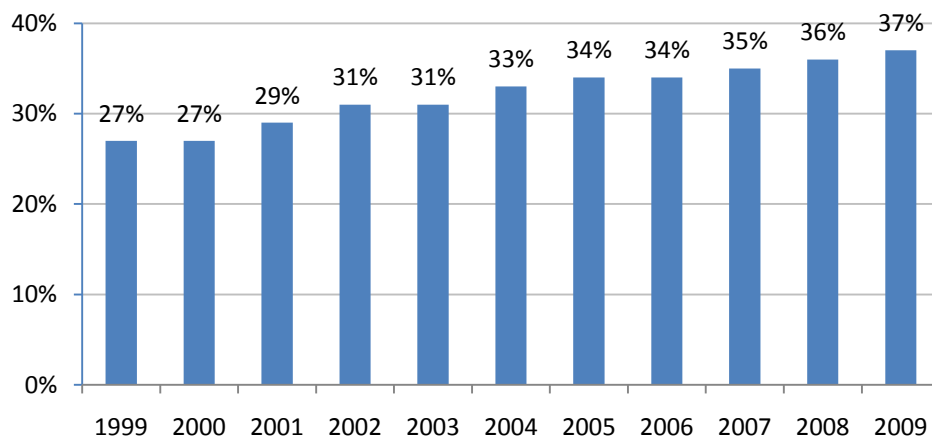
#### 4.2.4 Strategische Unternehmensfaktoren



Schließlich sind bei der Abwägung der verschiedenen Netzwerktypen noch weitere Faktoren zu berücksichtigen, die vor allem aus strategischer Sicht relevant und dabei auch in Verbindung mit den anderen Optimierungsfaktoren zu sehen sind.

##### ***Bedienung asymmetrisch verteilter Nachfrage***

Asymmetrisch verteilte Nachfrage bezeichnet die in der Realität anzutreffende Situation, dass verschiedene Städte unterschiedlich hohe Nachfragen generieren.<sup>316</sup> Für eine Flugverbindung ist grundsätzlich die Nachfrage nach einem Angebot zwischen zwei Punkten entscheidend. Mit der Einführung von Hubs werden verschiedene Ströme zusammengefasst und über einen oder mehrere zentrale Knoten gelenkt, auf denen die Passagiere umsteigen. Trotz des Umsteigeverkehrs, welcher durch dieses Zusammenfassen von Strömen generiert wird, stellt die lokale Nachfrage nach Verbindungen vom Hub-Flughafen aus immer noch eine wesentliche Entscheidungsvariable für die Etablierung von Hubs dar – dies obwohl bei Hubs meist sehr stark von umsteigenden Passagieren ausgegangen und gesprochen wird.<sup>317</sup> Tatsächlich ist die originär an verschiedenen Hubs generierte Nachfrage und damit der Anteil der Lokalnachfrage am gesamten Hubverkehrsaufkommen in der Praxis oft sogar majoritär.<sup>318</sup> Auf die Bedeutung der Lokalnachfrage wurde in den vorangegangenen Kapiteln bereits Bezug genommen, in der folgenden Grafik soll sie am Beispiel München visualisiert werden:



**Abbildung 29: Entwicklung Umsteigeranteil am Flughafen München (MUC) 1999-2009<sup>319</sup>**

Im Umkehrschluss bedeutet ein Umsteigeranteil von 37% in München gleichzeitig einen Anteil des Lokalverkehrs von erheblichen ca. zwei Drittel. Die Zahlen von Flughäfen können nicht direkt auf Airlines umgelegt werden. Bei Lufthansa als Airline lag der Lokalanteil auf der Langstrecke 2007 bei 26%. Air France/KLM hatte im Vergleich

<sup>316</sup> Vgl. Wojahn (2002), S. 159

<sup>317</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 12

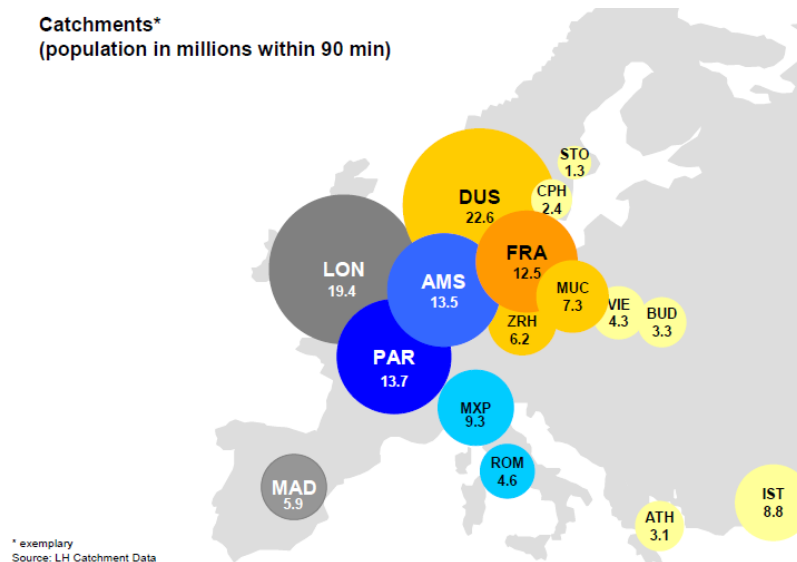
<sup>318</sup> Vgl. Wojahn (2002), S. 159

<sup>319</sup> Eigene Darstellung nach Flughafen München (2009a), S. 30

dazu einen Anteil von 27% und British Airways einen von 59%.<sup>320</sup> Auf der Kurz- und Mittelstrecke dürfte der Lokalanteil vor allem bei Lufthansa höher liegen. Nichtsdestotrotz zeugen die Zahlen von der Signifikanz der Lokalnachfrage auch bei großen Netzwerkfluggesellschaften.

Die Bedeutung der Lokalnachfrage wird auch aus den lokalen Nachfragepotentialen wesentlicher europäischer Ballungszentren ersichtlich:

Catchments\*  
(population in millions within 90 min)



**Abbildung 30: Ausgewählte Ballungsräume um zentrale Städte in Bevölkerungsmillionen bei Erreichbarkeit innerhalb von 90 Minuten<sup>321</sup>**

Dementsprechend sollte auch die lokale Nachfrage Beachtung bei der Analyse verschiedener Netzwerkarten spielen. Auch Wojahn anerkennt eine asymmetrische Nachfragesituation als eine mögliche Ursache für die Entstehung von Multi-Hub Systemen selbst wenn Hub-Kapazitäten eigentlich noch nicht vollständig ausgeschöpft werden.<sup>322</sup>

Prinzipiell lässt sich nach Ansicht des Autors argumentieren, dass mit einem zentralen, in einem Gebiet hoher Nachfrage gelegenen Single-Hub, der dort vorhandene Nachfrage gleich gut abgeschöpft werden kann, wie dies in einem Punkt-zu-Punkt System der Fall ist – falls die anderen Effekte eines Hub-Systems außer Acht gelassen werden. Für den einzelnen Nachfrager ergibt sich ein hohes Angebot an Direktverbindungen. In beiden Fällen wären vom zentralen, am Ort mit der höchsten Nachfrage gelegenen Flughafen, alle anderen Destinationen des Netzwerks erreichbar.<sup>323</sup> Mit einem Multi-Hub Sys-

<sup>320</sup> Vgl. Garnadt (2008), S. 18

<sup>321</sup> Garnadt (2008), S. 17

<sup>322</sup> Vgl. Wojahn (2002), S. 159. In einer früheren Publikation präsentierte Wojahn hingegen ein Modell in dem er die Nachfrage zwischen zwei Städten asymmetrisch von den Größen derselben abhängig macht. In diesem einfachen Modell kommt er zum Schluss, dass ein Multi-Hub Netzwerk unter Ausnutzung von Dichtevorteilen nicht kostenminimierend ist. Dichtevorteile und eine asymmetrische verteilte Nachfrage stellen deshalb alleine noch keine ausreichenden Gründe für ein Multi-Hub System dar. Vgl. Wojahn (2001), S. 275

<sup>323</sup> Diese Betrachtung ist ceteris paribus, wenn keine weiteren Effekte eines Hub-Systems berücksichtigt werden. In der Praxis kann durch den am Hub wohnenden Kunden ein qualitativ besseres Angebot,

tem können darüber hinaus weitere Lokalnachfragepotentiale erschlossen werden. Wie oben bereits erwähnt lassen sich dabei für Direktverbindungen höhere Preise verlangen. Nachdem mit einem Multi-Hub Netzwerk mehr möglichen Passagieren Direktverbindungen angeboten werden können, kann somit ein zusätzliches Umsatzpotential erschlossen werden.

Problematisch ist, wenn mit Hilfe eines weiteren Hubs am selben Standort kein zusätzliches Nachfragepotential erschlossen wird. Dies war zum Beispiel in einer früheren Strategie von British Airways der Fall, die versuchte London Gatwick (LGW) als zusätzlichen Hub zu London Heathrow (LHR) aufzubauen.<sup>324</sup> Nach einer gewissen Zeit wurden die Langstreckenflüge von Gatwick schließlich wieder reduziert und zurück nach Heathrow verlagert.<sup>325</sup>

### ***Marktmacht an und von Flughäfen***

Die Ausnutzung von Marktmacht und die damit verbundene Erzielung möglicher höherer Gewinne ist ein zentrales Motiv auch von Flugunternehmen. Dementsprechend soll in der Folge auf zwei wesentliche und in Verbindung mit Hub-Netzwerken entscheidende Elemente eingegangen werden. Auf der einen Seite ist dies die Marktmacht von Airlines durch ihre Dominanz auf Flughäfen und auf der anderen Seite ist es die Marktmacht von Flughäfen gegenüber Airlines.

### ***Marktmacht gegenüber Flughäfen***

Ein wesentlicher Effekt, welcher mit der Etablierung eines Hub-and-Spoke Netzwerks verbunden ist, stellt die meistens hohe Dominanz der Fluggesellschaft am zentralen Hub dar. Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt einige dieser Dominanzen auf:

---

eventuell zu einem höheren Preis, gemacht werden, welches möglicherweise ein größeres Nachfragepotential abschöpft.

<sup>324</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 253

<sup>325</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 3

Flughafen	Airline	Anteil an Sitzen (%)
Minneapolis-St Paul	Northwest	80%
Houston	Continental	79%
Detroit	Northwest	78%
Atlanta	Delta	75%
Denver	United	73%
St Louis	TWA	72%
Dallas-Fort Worth	American	70%
New York Newark	Continental	56%
San Francisco	United	52%
Miami	American	50%
Chicago	United	49%
Phoenix	America-West	43%
Chicago	American	35%
Las Vegas	Southwest	33%
Phoenix	Southwest	29%
Los Angeles	United	27%
New York JFK	American	20%
New York JFK	Delta	15%
Los Angeles	American	12%

Daten: Salomon Smith Barney (SSB) (2000)

**Tabelle 10: Anteil wesentlicher Airlines an den 15 größten Flughäfen in den Vereinigten Staaten<sup>326</sup>**

In der Literatur wird von einer Hub-Dominanz ab einem Slotanteil von 60% gesprochen (grau hinterlegt). Dies führt dazu, dass es sich für keine weitere Fluggesellschaft mehr sinnvoll erweist, am selben Standort einen Hub zu eröffnen.<sup>327</sup> Mit dieser hohen Dominanz sind einige Effekte in Verbindung mit der damit einhergehenden Steigerung der Marktmacht verbunden.<sup>328</sup> Grundsätzlich schafft eine Fluggesellschaft aufgrund des Besitzes eines Großteils der Slots (und weiterer Kapazitäten wie z.B. Gate-Kapazitäten, etc.) am Flughafen Eintrittsbarrieren für Konkurrenten. Diese können weiters mit der Hilfe von Preisdumping und Frequenzerhöhung erhöht werden. Dies wird in der Literatur häufig als „Fortress-Effect“<sup>329</sup> bezeichnet.<sup>330</sup>

An dieser Stelle gilt es, den oben in Abbildung 25 als „S-Kurven“-Effekt dargestellten Zusammenhang zwischen Kapazitätsanteil und Marktanteil in Erinnerung zu rufen. Dieser Effekt führt dazu, dass Airlines über die normalen Anreize eines Hub-and-Spoke Systems hinaus versuchen, einen möglichst hohen Anteil am Flughafen – und damit verbundene Marktmacht – zu erreichen.<sup>331</sup>

<sup>326</sup> Eigene Darstellung nach Doganis (2002), S. 257

<sup>327</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 241

<sup>328</sup> Vgl. Jäggi (2000), S. 123

<sup>329</sup> Pompl (2007), S. 169

<sup>330</sup> Vgl. Pompl (2007), S. 170 sowie Jäggi (2000), S. 228

<sup>331</sup> Vgl. Binggeli/Pompeo (2006), S. 1

Ein oftmals im Zuge der Diskussion vorgebrachtes Argument für die Etablierung eines Hubs und dessen Rentabilität sind so genannte „Hub-Prämien“, welche eng mit diesem „S-Kurven“-Effekt verknüpft sind.<sup>332</sup> Hierbei handelt es sich um höhere Preise, die genau dann von einer Airline realisiert werden können, wenn sie über eine dominante Vormachtstellung auf einem Hub verfügt.<sup>333</sup> Für die Existenz von „Hub-Prämien“ ist vor allem die Dominanz an Flughäfen und weniger jene auf einzelnen Verbindungen entscheidend. Dabei ist die Dominanz auf einzelnen Verbindungen mit jener an angrenzenden Flughäfen positiv korreliert.<sup>334</sup>

Tarif	Monopol- verbindungen	Duopol- verbindungen	Drei Airlines am Markt
Business	100%	95%	90%
Economy	100%	93%	83%
Promotion	100%	83%	76%

Daten: Europäische Kommission

**Tabelle 11: Preisniveau unterschiedlicher Ticketkategorien auf Hub-Verbindungen bei unterschiedlicher Marktmacht<sup>335</sup>**

Tabelle 11 zeigt sehr deutlich, welche Auswirkungen eine zu hohe Marktmacht auf einzelnen Verbindungen auf das Preisniveau einer Airline hat. Dies wird auch durch eine Untersuchung Lijesen, Rietveld und Nijkamp unterstützt, welche zeigt, dass bei manchen europäischen Fluglinien durch Marktmacht bedingte höhere Preise bei von Hubs ausgehenden Routen identifiziert werden können.<sup>336</sup> Zudem wird dies von Hofer, Windle und Dresner für den U.S.-amerikanischen Bereich bestätigt, wobei diese aufgrund des Markteintritts von Low-cost Fluggesellschaften deutlich im Sinken sind.<sup>337</sup>

Alles in allem können Airlines durch die Konzentration von Flugbewegungen auf einen zentralen Flughafen signifikante Marktmacht erreichen, die sie höhere Preise im Vergleich zu einem Punkt-zu-Punkt Netzwerk erzielen lässt. Beim Vergleich zwischen Single- und Multi-Hub Netzwerken kommt es darauf an, ob eine Airline in der Lage ist, auf mehreren Hubs im Multi-Hub Fall einen signifikanten Marktanteil zu erzielen und somit auf einer größeren Anzahl von Strecken als im Single-Hub Fall „Hub Prämien“ verlangen kann. Betrachtet man die Prozentsätze in Tabelle 10 so kann dies vor allem für Northwest, in Abstrichen auch für Continental, United oder American bestätigt werden. Es ist also durchaus in der Praxis realistisch, auf mehreren Hubs Vorteile von Marktmacht erzielen zu können. Dies ergänzt das oben angebrachte Argument der höheren Preise für eine höhere Anzahl von Direktverbindungen in Multi-Hub Systemen.

<sup>332</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 7

<sup>333</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt „Unterschiede in der Flugfrequenz“

<sup>334</sup> Vgl. Hofer/Windle/Dresner (2008), S. 875

<sup>335</sup> Eigene Darstellung nach Doganis (2002), S. 261

<sup>336</sup> Vgl. Lijesen/Rietveld/Nijkamp (2001), S. 197

<sup>337</sup> Vgl. Hofer/Windle/Dresner (2008), S. 875

### *Marktmacht von Flughäfen*

Neben der Marktmacht der Airline auf Flughafen- oder Streckenbasis ist auch die Marktmacht der Flughäfen selbst von entscheidender strategischer Bedeutung. Die Kosten die Airlines in Verbindung mit Flughäfen entstehen, sind signifikant, weshalb es für eine Fluggesellschaft von entsprechend hoher Bedeutung ist, eine gute Verhandlungsposition gegenüber einem Flughafen zu erreichen. Bereits die Landegebühren (inkl. Kosten der Luftraumsicherung auf der Strecke) und Ausgaben für „Handling“ und „Parking“ machen gemeinsam in etwa 10,7% der Kosten einer Airline aus.<sup>338</sup>

Zunächst könnte man argumentieren, dass eine Airline, die eine dominante Stellung auf einem Flughafen entwickelt hat, auch gegenüber diesem eine gewisse Marktmacht mitbringt. Im gleichen Sinn ist jedoch auch der umgekehrte Fall zu betrachten. Betreibt eine Airline lediglich einen Hub, so hat dieser Hub eine Monopolstellung gegenüber dieser Airline. Dies vor allem deshalb, da die Kosten eines Hub-Wechsels für eine Airline sehr hoch<sup>339</sup> sind und damit die Verhandlungsposition gegenüber dem Hub-Flughafen dementsprechend eingeschränkt ist. Mit der Eröffnung eines weiteren Hubs im Netzwerk kann eine Airline ihre Verhandlungsposition verbessern und bessere Tarife in Bezug auf die Services des Airports lukrieren.<sup>340</sup> Auch Düdden sieht darin einen möglichen Hauptgrund zur Entwicklung eines Multi-Hub Systems mit gleichwertigen Hubs.<sup>341</sup>

Als Beispiel für die Marktmacht von Flughäfen und wie sich Airlines gegenüber dieser zu positionieren versuchen, kann wiederum die Argumentation der Lufthansa gegenüber dem Flughafen München gesehen werden. Wenngleich es sich beim Einwand um Fragen des Ausbaus und nicht um Gebühren handelte, forderte Lufthansa-Vorstandsvorsitzender Mayerhuber „[...] einen schnellen Ausbau des Flughafen Münchens. Im Süden würden sich für Lufthansa sowohl Zürich als auch Wien als Alternativen anbieten, sollte München keine dritte Bahn bekommen [...]“<sup>342</sup>. Ebenso deutlich sind die Auseinandersetzungen mit dem Flughafen Frankfurt über Gebührenerhöhungen und Ausbauvorhaben. Gleichzeitig ist in der Reaktion des Airports Council International (ACI) in Europa zu erkennen, dass Flughäfen in einem Multi-Hub System nach Einschätzung des Autors relativ defensiv argumentieren, um die Fluglinien auf ihre Seite zu bekommen.<sup>343</sup>

Zusammenfassend sind Airlines, die ein Single-Hub System verwenden am stärksten mit ihrem zentralen Flughafen verbunden und damit, mangels glaubwürdiger Alternativen, von demselben abhängig. Selbstverständlich hat auch dieser ein Interesse am Über-

---

<sup>338</sup> Vgl. Doganis (2002), S. 96

<sup>339</sup> Für die Schwierigkeit eines Wechsels muss sich der Leser nur die Einschränkungen durch Nationalitätsklauseln und die Anzahl von großen Flughäfen und Städten in vielen Ländern vor Augen führen. Außerdem erfordert die Etablierung eines Hubs entsprechende Investitionen, welche ebenfalls hohe Vorlauf- und Bauzeiten und damit Kosten bedeuten.

<sup>340</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 9. Ähnliches, ohne nähere Ausführung, gilt auch für weitere am Airport bezogene Services anderer Dienstleister, deren Verhandlungsmacht mit der Hilfe eines weiteren Hubs im Netzwerk ebenfalls verkleinert werden kann.

<sup>341</sup> Vgl. Düdden (2006), S. 432

<sup>342</sup> Airliners.de (2009), <http://www.airliners.de>

<sup>343</sup> Vgl. CAPA (2009), <http://www.centreforaviation.com>

leben und Florieren der wichtigsten Airline, jedoch bleibt die Verhandlungsmacht der Fluglinie beschränkt.<sup>344</sup> Somit stellen nach Meinung des Autors Multi-Hub Netzwerke eine Möglichkeit dar, die Verhandlungsposition zu verbessern und die eigenen Kosten zu senken. Aufgrund der Flexibilität und der Freiheit in der Wahl der Flughäfen haben Punkt-zu-Punkt Netzwerke gegenüber Flughäfen Vorteile in der Verhandlungsmacht.<sup>345</sup>

### *Luftfahrtrechtliche Aspekte*

Wie bereits im Abschnitt 3 beschrieben, ist die Luftfahrtverkehrswirtschaft sehr stark durch die verschiedensten regulativen Eingriffe beeinflusst. So ist das Streckennetzwerk einer Fluggesellschaft sehr stark durch die beschriebenen bilateralen Verträge zwischen einzelnen Staaten eingeschränkt. Zwar ist der Luftverkehr innerhalb der EU weitestgehend dereguliert, jedoch sind Fluggenehmigungen mit Nicht-EU-Ländern<sup>346</sup> immer noch an die Nationalitätsklauseln gebunden, die zu erheblichen Behinderungen des Flugverkehrs insgesamt führen.<sup>347</sup>

Zu welchen Problemen die Nationalitätsklauseln auch noch heute führen können, zeigt ein aktuelles Beispiel am Fall der Austrian Airlines und deren Flugverbindungen nach Russland. Nach der Übernahme von Austrian Airlines durch Lufthansa signalisierte Russland, „dass die AUA keine österreichische Fluglinie mehr ist und akzeptierte nicht das beim AUA-Verkauf gewählte Konstrukt einer Stiftung, die mehrheitlich in österreichischer Hand ist.“<sup>348</sup> Die Landrechte wurden nur für ca. ein halbes Jahr genehmigt.<sup>349</sup> Auch wenn es sich bei dieser Problematik um kein rein rechtliches, sondern auch ein strategisches Problem handelt, zeigt es die Komplikationen, welche aufgrund bilateraler Abkommen immer noch vorhanden sind. Nichtsdestotrotz kann bei Übernahmen, wie oben beschrieben, durch das „quasi-rechtliche“ Bestehen bleiben der übernommenen Airlines mit Hilfe spezieller Rechtskonstrukte erreicht werden, dass bilaterale Abkommen weitergenutzt werden können.<sup>350</sup> Zusätzlich führt dies jedoch zur Einschränkung, dass bestehende Hubs auch weiterhin von der übernommenen Fluggesellschaft genutzt werden müssen.

Gleichzeitig schränken auch die bilateralen Landrechte die Möglichkeiten von Airlines ein, ihr Streckennetz aufzubauen und Hubs frei zu wählen. In der nachfolgenden Tabelle erfolgt eine Darstellung, welche Flugrechte für verschiedene Netzwerkarten notwendig sind, wobei von einer internationalen Struktur ausgegangen wird.

---

<sup>344</sup> Albers/Koch/Ruff (2005) beschreiben die Möglichkeit des Eingehens strategischer Allianzen zwischen Flughäfen und Fluggesellschaften. Als praktisches Beispiel führen sie die Kooperation von Lufthansa mit dem Flughafen München an.

<sup>345</sup> Zu beachten ist, dass sich eine ähnliche Argumentation durchaus für weitere Flughafen-gebundene Service-Anbieter aufbauen lässt.

<sup>346</sup> Abgesehen von weiteren Open Skies Abkommen mit anderen Regionen wie z.B. den USA, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll.

<sup>347</sup> Vgl. de Wit/Burghouwt (2005), S. 10

<sup>348</sup> Schneid (2010), <http://diepresse.com>

<sup>349</sup> Vgl. Die Presse (2010), <http://diepresse.com>

<sup>350</sup> So akzeptierten, bis auf Russland, alle anderen 56 angeflogenen Länder die Stiftungs-Konstruktion der Lufthansa/Austrian Airlines-Übernahme ohne Probleme. Vgl. Die Presse (2010), <http://diepresse.com>

Freiheit	Erklärung	Punkt-zu-Punkt	Single-Hub	Multi-Hub
1. Freiheit	Überflug	ja	ja	ja
2. Freiheit	Nicht-gewerbliche Zwischenlandung	nein	nein	nein
3. Freiheit	Beförderung HL->Staat A	ja	ja	ja
4. Freiheit	Beförderung Staat A -> HL	ja	ja	ja
5. Freiheit	Beförderung HL->Staat A->Staat B; Beginn/Ende im HL	kann	kann	kann
6. Freiheit	Beförderung Staat A-> Zwischenlandung HL->Staat B	nein	ja	ja
7. Freiheit	Beförderung Staat A->Staat B ohne HL	kann	nein	bedingt
8. Freiheit	Beförderung im Staat A; Beginn/Ende im HL	kann	kann	kann
9. Freiheit	Beförderung im Staat A	kann	nein	bedingt

HL ... Heimatland

**Tabelle 12: Notwendigkeit der Freiheiten der Luft für die Etablierung verschiedener Netzwerktypen<sup>351</sup>**

Die 1. Freiheit kann je nach Geographie notwendig sein während die 2. Freiheit nur im Bedarfsfall notwendig ist. Die 3. und 4. Freiheit sind grundlegende Voraussetzung für einen Linienflugbetrieb. In einem Punkt-zu-Punkt Netzwerk werden Flüge meist nur zwischen zwei Destinationen durchgeführt, wodurch die 5. Freiheit nur unter Umständen relevant ist. Bei Single- und Multi-Hub Netzwerken kann sie hingegen durchaus sinnvoll für die Netzwerkgestaltung sein. Für ein Hub-Netzwerk kann die 6. Freiheit als notwendig gesehen werden, wobei diese eine Kombination aus 3. und 4. Freiheit darstellt.<sup>352</sup> In Bezug auf die 7. Freiheit kommt es bei einem Punkt-zu-Punkt Netzwerk auf die genaue Netzwerkgestaltung an. Liegt ein Hub in einem Multi-Hub System nicht im Staatsgebiet des Hauptsitzes der Airline, so werden die 7. Freiheit und unter Umständen auch die 9. benötigt. Die 9. Freiheit kann auch für das Punkt-zu-Punkt System wesentlich sein. Bei der 8. Freiheit verhält es sich in Bezug auf die Netzwerktypen wie mit der 5. Freiheit.

Zusammenfassend sind die hier angesprochenen rechtlichen Komponenten erst bei internationalen Berührungspunkten einer Airline relevant. Für nur in der Europäischen Union auftretende Fluglinien sind durch sie keine Beschränkungen mehr gegeben.<sup>353</sup> Werden von einer Airline noch weitere Nicht-EU-Länder in den Flugplan mit aufgenommen, so können für das Angebot von Punkt-zu-Punkt Verbindungen weitreichende Freiheiten notwendig sein, die unter Umständen nicht leicht zu erhalten sind. Hier haben Single-Hub Systeme entsprechende Vorteile. Bei Multi-Hub Netzwerken treten regulative Probleme dann auf, wenn die Hubs des Netzwerks in unterschiedlichen Ländern liegen. Dies gilt unter Umständen auch innerhalb der Europäischen Union, wie das in Bezug auf Russland angeführte Beispiel von Lufthansa und Austrian Airlines zu erkennen gab. Liegen die Hubs eines Multi-Hub System jedoch im selben Land, so sind

<sup>351</sup> Eigene Darstellung. Vgl. dazu auch Sterzenbach/Conrad (2003), S. 69ff

<sup>352</sup> Vgl. Pompl (2007), S. 364f

<sup>353</sup> Vgl. dazu auch die Ausführungen in Abschnitt 3.1, „Jüngere historische Entwicklung“



dieselben Vorteile wie bei Single-Hub Netzwerken im Vergleich zu Punkt-zu-Punkt Verbindungen zu nennen.

Die dargestellten Schwierigkeiten der bilateralen Abkommen führen sehr oft zu einem Multi-Hub System, nachdem es mit speziellen rechtlichen Konstruktionen<sup>354</sup> in der Praxis möglich ist, die Verkehrsrechte der gekauften Fluglinie zu bewahren und damit den Betrieb inklusive eines zusätzlichen Hubs zu sichern. Würde man auf eine spezielle rechtliche Konstruktion verzichten, so wären zusätzliche Verkehrsrechte insbesondere zum Betrieb des weiteren Hubs notwendig. Damit würden die Anreize wiederum gegen das Multi-Hub System sprechen.

#### ***4.3 Zusammenfassende Bewertung und Entscheidungsabwägung unter betriebswirtschaftlichen Optimierungsaspekten***

In den vorangegangenen Abschnitten wurde eine Vielzahl verschiedener Optimierungsfaktoren besprochen, die von einer Airline bei der Gestaltung ihres Netzwerks zu berücksichtigen sind. Dabei wurden wesentliche Argumente dargestellt und die Unterschiede zwischen den verschiedenen grundsätzlichen Netzwerktopologien – Punkt-zu-Punkt (P2P), Single-Hub (SH) und Multi-Hub (MH) – ausgearbeitet. Die folgende Tabelle soll nun eine zusammenfassende Darstellung der Diskussion dieses Abschnitts bieten sowie einen zusammenfassenden Vergleich der Netzwerkarten zulassen. Weiters dient die Bewertung als Grundlage für die Simulation im folgenden Abschnitt.

---

<sup>354</sup> Vgl. Lufthansa (2009), S. 14 zum Transaktionsstruktur der Übernahme von Austrian Airlines durch Lufthansa.

Faktor	P2P	SH	MH
<b>Flugbetriebsbezogene Faktoren</b>			
Economies of Density, Scale und Scope	–	+	~
Notwendige Anzahl an Verbindungen und Flügen	–	+	~
Streckenlängen und Streckenkosten	+	–	– <sup>1</sup>
Flugzeugauslastung	+	–	~ / – <sup>2</sup>
Fehlerwahrscheinlichkeit des Netzwerks	+	–	~ / – <sup>3</sup>
Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen	–	~	+
<b>Passagierindividuelle Faktoren</b>			
Reise- und Flugdauer	+	–	~ <sup>4</sup>
Unterschiede in der Flugfrequenz und des Schedule Delay	–	~	+
Wahlmöglichkeit des Transferpunktes	n/a	–	+
Angebot an Flugverbindungen	–	~	+ / ~ <sup>5</sup>
<b>Infrastrukturbezogene Faktoren</b>			
Kapazitätsbeschränkungen an Airports	+	–	~
Kapazitätsbeschränkungen in der Luft	+	–	~
Komplexitätskosten an Flughäfen	+	–	~
Hub-Fixkosten	+	~	– <sup>6</sup>
<b>Strategische Unternehmensfaktoren</b>			
Bedienung asymmetrisch verteilter Nachfrage	+	–	~
Marktmacht gegenüber Flughäfen	–	+	+ <sup>7</sup>
Marktmacht von Flughäfen	+	–	~
Luftfahrtrechtliche Aspekte	–	+	+ / – <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Bei völlig redundanter Anbindung

<sup>2</sup> (~), wenn eine Mischung von Flugzeugflotten mehrerer Hubs zugelassen wird, (–) wenn nicht

<sup>3</sup> (–), wenn eine Mischung von Flugzeugflotten mehrerer Hubs zugelassen wird, (~) wenn nicht

<sup>4</sup> Bei Routing von Passagieren über schnellsten Hub

<sup>5</sup> (+), wenn Lokalnachfrage weiterer Hubs zusätzliche Destinationen ermöglicht, (~) wenn nicht

<sup>6</sup> Nur geringfügig schlechter als SH

<sup>7</sup> Ob besser als Single-Hub abhängig davon, ob auf mehreren Hubs Dominanz erreicht wird

<sup>8</sup> (+), wenn Hubs im selben Land (oder in EU u.u.), (–) wenn nicht

n/a nicht anwendbar

**Tabelle 13: Zusammenfassende Gegenüberstellung der Netzwerkart in Bezug auf die verschiedenen Optimierungsfaktoren<sup>355</sup>**

Betrachtet man die zusammenfassende Bewertung so fällt auf, dass insgesamt keine eindeutige Aussage in Bezug auf eine allgemeine Vorteilhaftigkeit eines Netzwerktyps zulässig ist. Alle Netzwerkart haben unterschiedliche Vor- und Nachteile, welche es in Bezug auf die jeweiligen Rahmenbedingungen zu bewerten gilt. Wie Oum, Zhang und Zhang jedoch zeigen, verwenden Airlines Hub-Netzwerke unter Konkurrenzbedingungen auch dann, wenn es nicht unbedingt kostenmäßig (unter Einbeziehung der Kosten der Airline und der Passagiere) von Vorteil für die Airline wäre.<sup>356</sup>

<sup>355</sup> Eigene Darstellung

<sup>356</sup> Vgl. Oum/Zhang/Zhang (1995), S. 852

Vergleicht man SH und MH Systeme, so sind erstere vor allem in Bezug auf die flugbetrieblichen Faktoren im Vorteil. Dabei haben vor allem die aus den Dichte- und Größenvorteilen resultierenden Konsequenzen eine erhebliche Auswirkung, die nach Einschätzung des Autors nur bedingt durch eine höhere Flugzeugauslastung, eine niedere Fehlerwahrscheinlichkeit und eine höhere Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen eines MH Netzwerks ausgeglichen werden kann. In Bezug auf die passagierindividuellen Faktoren zeigen sich deutliche Vorteile des MH Netzwerks wobei vor allem die mit einem MH System erreichte höhere Flugfrequenz ein wesentlicher Vorteil am Markt sein dürfte. In hohem Maß entscheidend sind die Vorteile in Bezug auf die Infrastruktur und deren Auslastung. Durch die Konzentration auf einen Hub unterliegen SH Netzwerke in hohem Maß den auf diesem Flughafen gegebenen Einschränkungen und den daraus resultierenden Kosten. Diese Abhängigkeit wirkt sich auch im Rahmen der strategischen Faktoren nachteilig aus. MH Netzwerke zeigen hingegen durch die Möglichkeit einer Verlagerung auf den zweiten Hub und der Möglichkeit des Einbeziehens eines weiteren Ballungsraumes in das Streckennetz strategische Vorteile. Zu beachten sind bei MH Netzwerken jedoch die Kosten für die Etablierung eines zweiten Hubs.

Alles in allem unterschieden, zusammenfassend formuliert, SH und HM in erster Linie Dichte- und Größenvorteile im Gegensatz zu höherer Verlässlichkeit, Frequenz und geringerer konzentrierter Kapazitätsauslastung bei höherem Nachfragepotential und mehr Marktmacht gegenüber Flughäfen.

Dabei wird in dieser Argumentation grundsätzlich von mehrfachangebundenen Destinationen ausgegangen. Wird auf diese redundante Anbindung zum Beispiel auf der Langstrecke (durch geographische Spezialisierung) verzichtet, so lässt sich argumentieren, dass dadurch eine Tendenz in Richtung der Konsequenzen des SH Netzwerkes eintritt.

P2P Netzwerke können noch deutlich weniger Dichte- und Größenvorteile als andere Topologien erzielen und hinken auch bei angebotenen Flugfrequenzen und Flugverbindungen den Hub-Systemen hinterher. Jedoch sind durch die direkte Anbindung von Destinationen, dem höheren Flugzeugeinsatz und der geringeren Verspätungsanfälligkeit in Verbindung mit der kürzeren Reise- und Flugdauer durchaus auch Vorteile gegenüber Hub-Systemen erzielbar. Auch in der Infrastrukturkomponente, der Möglichkeit Nachfrage direkt auszunützen und der Marktmacht von Flughäfen zu entgehen sind noch weitere Vorteile begründet. Diesen stehen aber auch die geringere eigene Marktmacht (unter Erzielung niederer Ticketpreise) und die eventuell schwierigere Etablierung eines Netzwerks gegenüber.

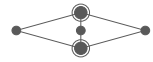
In einer hybriden Netzwerkform können Direktverbindungen gezielt, die soeben dargelegten Vorteile ausnützend, dazu eingesetzt werden, um zahlungskräftiges und zeitsensitives Nachfragepotential zu bedienen. Dies hat zwar in erster Linie negative Effekte auf wesentliche Dichtevorteile, jedoch können die positiven Effekte durch den höheren Ertrag dennoch dominieren.

In Hinblick auf zusammenfassende Empfehlungen für Airlines stellt der Verlust von Dichte- und Skalenvorteilen das wesentlichste Argument gegen die Etablierung eines MH Netzwerkes dar. Können andere Argumente dieses Argument grundlegend ausgleichen, so kann sich die Verwendung eines MH Systems lohnen. Kapazitätsbeschränkun-

gen (v.a. an Flughäfen) und bei Übernahmen bedingt auch rechtliche Faktoren können als wesentlichste, zwingende Argumente für die Etablierung eines MH Netzwerks gesehen werden. Liegen diese Gründe vor, empfiehlt es sich ein MH Netzwerk zum weiteren Wachstum zu etablieren und dementsprechend optimal zu gestalten. Die Probleme durch Kapazitätsbeschränkungen sind dabei im Zusammenhang mit Komplexitätskosten und der durch die Erreichung eines bestimmten Marktanteils auf einem Airport vorhandenen Marktmacht zu sehen. Diese gilt es gesamthaft abzuwiegen.

Legen die Passagiere im betrachteten Marktsegment entsprechenden Wert auf Frequenzen und sind sie bereit dafür zu bezahlen, so kann die optimale Gestaltung eines MH Netzwerks unter Verteilung der Last auf mehrere Flughäfen vorteilhaft sein. Die Einbringung der Lokalnachfrage des zweiten Hubs (und die dadurch implizierte höhere Nachfragesicherheit sowie höheren Preise für Direktverbindungen vom Hub aus) stellt ein wesentliches weiteres Argument für MH Netzwerke dar. Besteht die Chance ein solches Potential zu nutzen, kann die Verwendung eines MH Systems zielführend sein, da die zusätzlichen profitablen Verbindungen die negativen Effekte aus verlorenen Dichtevorteilen möglicherweise ausgeglichen werden. Direktverbindungen (im Sinne einer teilweisen P2P Implementierung) können verwendet werden, um die lokal zwischen zwei Destinationen bestehende hochpreisige Nachfrage (eventuell in einem ersten Schritt, vor der Etablierung eines weiteren Hubs als nächster) zu lukrieren.

## 5 Simulation eines beispielhaften Netzwerkes



Ziel des folgenden Abschnitts ist die simulationsbasierte Untersuchung der Vorteilhaftigkeit verschiedener Netzwerkkonfigurationen anhand eines Beispiels. Dabei sollen auf Basis der im vorangegangenen Abschnitt durchgeführten Analyse wesentliche Faktoren in ein Optimierungsmodell integriert und ein fallbasierter Vergleich von Parametern im Sinne einer Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden.

### 5.1 Einführung und Klassifikation der Modelltypen

Theoretische Grundlage für die in diesem Abschnitt durchgeführte Simulation ist das Hub Location Problem (HLP).

„The **hub location problem** is concerned with locating hubs and assigning non-hub nodes to the hubs to meet a predefined objective (usually the minimization of total network costs). A challenge in the development of these models is to incorporate important characteristics of real hub-and-spoke networks without increasing the complexity of the model to such an extent that it cannot be solved.“<sup>357</sup>

Demnach stellt das HLP ein klassisches, abstrahierendes Modell dar. Ziel desselben ist es, eine Zielfunktion zu optimieren. Dazu werden in einem ersten Schritt Hubs in einem Netzwerk platziert und in einem weiteren Knoten miteinander verbunden. Es lässt sich folglich einerseits in ein Lokations- und andererseits in ein Allokationsproblem unterteilen.<sup>358</sup> Das HLP lässt sich für die Lösung von (netzwerkbezogenen) Problemstellungen in den verschiedensten Bereichen einsetzen. Neben der Luftfahrt ist dies zum Beispiel auch die Telekommunikation oder die Frachtlogistik.<sup>359</sup>

Erste Ideen zu diesem Problem wurden zwar bereits in den 1960er Jahren publiziert, populär wurde die Beschäftigung mit dieser Fragestellung aber erst Ende der 1980er Jahre. Nach der Erlangung einer gewissen Maturität der Modelle in den 1990er Jahren spezialisieren sich Wissenschaftler nun zunehmend in der Verbesserung von Lösungsalgorithmen verschiedener Probleme.<sup>360</sup> Die unterschiedlichsten Ausprägungen des Hub Location Problem lassen sich auf Basis mehrerer Eigenschaften klassifizieren:

<sup>357</sup> Bryan/O’Kelly (1999), S. 276; Hervorhebung hinzugefügt

<sup>358</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 79ff

<sup>359</sup> Vgl. Alumur/Kara (2008), S. 3

<sup>360</sup> Vgl. Hekmatfar/Pishvaei (2009), S. 246

Eigenschaft	Ausprägungen
Lösungsansatz	diskret, kontinuierlich
Zielfunktion	MiniMax, MiniSum
Bestimmung der Hubanzahl	endogen, exogen
Anzahl der Hubs	ein Hub, mehr als ein Hub
Hub-Kapazität	unlimitiert, limitiert
Hub-Kosten	keine, fixe, variable
Knotenanzahl an Hubs	zu einem Hub, zu mehreren Hubs
Kosten der Hub-Anbindung	keine, fixe, variable

**Tabelle 14: Möglichkeiten zur Klassifikation des Hub Location Problems<sup>361</sup>**

Es kann demnach eine größere Anzahl an Unterproblemen identifiziert werden, die jeweils in bestimmten Eigenschaften Unterschiede aufweisen.<sup>362</sup> Für diese Arbeit ist die Differenzierung des p-Hub Medianproblems und das HLP mit Fixkosten (als „HLP ieS“ bezeichnet) von Bedeutung. Während bei ersterem von einer fixen Anzahl an zu platzierenden Hubs ausgegangen wird, ist bei letzterem die Anzahl der Hubs frei und wird durch das Modell selbst optimiert (deshalb „HLP ieS“). Der Öffnung von Hubs stehen dabei jedoch Fixkosten (der Öffnung) gegenüber. Neben diesen beiden Problemtypen seien an dieser Stelle noch das p-Hub Zentrumsproblem, bei dem ein MiniMax-Ansatz verfolgt wird, und das Hub Abdeckungsproblem, welches eine möglichst gute Abdeckung eines Gebiets durch eine bestimmte Hub-Verteilung als Ziel hat, erwähnt. Eine Übersicht über Studien zu dieser Einteilung des Themenfeldes geben Alumur und Kara.<sup>363</sup> In der Folge soll als Grundlage für die Modellbildung die von Jacquemin stammende, auf die Luftfahrt bezogene Beschreibung des HLP verwendet werden.

## 5.2 Modellbildung

### 5.2.1 Angewandtes Grundmodell

Basis für das in dieser Arbeit angewandte Simulationsmodell ist das p-Hub Median Problem mit Mehrfachzuordnung. Es handelt sich dabei um ein als gemischt-ganzzahliges Problem formuliertes mathematisches Modell. Es geht von einer Mehrfachzuordnung von Knoten zu mehreren Hubs ohne Direktverbindungen aus.<sup>364</sup> Durch die exogene Vorgabe der Hubanzahl lassen sich verschiedene Fälle von Parameterkonstellationen mit einer linearen Zielfunktion untersuchen. Würde die Hubanzahl endogen (mit Hilfe eines HLP ieS) ermittelt werden, so würde dies in der Folge zu einer nicht-linearen Zielfunktion führen und die Grenzen dieser Arbeit überschreiten.<sup>365</sup> Dem Grundmodell liegen in Anlehnung an Jacquemin<sup>366</sup> mehrere Annahmen zu Grunde:

<sup>361</sup> Eigene Darstellung. Vgl. Hekmatfar/Pishvaei (2009), S. 246f

<sup>362</sup> Vgl. Hekmatfar/Pishvaei (2009), S. 246ff. An dieser Stelle sei auf Hekmatfar und Pishvaei verwiesen, die verschiedenste Problemansätze auflisten. Zudem führen sie eine größere Anzahl an in der Literatur vorgestellten Lösungsverfahren an, die über Algorithmen der linearen Programmierung hinaus gehen.

<sup>363</sup> Vgl. Alumur/Kara (2008)

<sup>364</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 108f

<sup>365</sup> Bei nicht-linearen Zielfunktionen tritt das Problem der Bestimmung lokaler und globaler Optima auf, die oftmals einen heuristischen Lösungsansatz erfordern.

<sup>366</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 95ff sowie insbesondere S. 108ff

- Es wird von einem deterministischen und nicht stochastischen Planungsmodell ausgegangen und auf eine Modellierung von Konkurrenz verzichtet.
- Gegeben sei ein in Abschnitt 2.1 definiertes Netzwerk, also ein bewerteter, gerichteter Graph  $G = (V, E, I)$  mit einer Knotenmenge  $V$ , einer Kantenmenge  $E$  und einer Inzidenzrelation  $I$ .
- Die Teilmenge  $H$  der Knotenmenge  $V$  ( $H \subseteq V$ ) beschreibt die Menge jener Knoten, die als Hub-Standorte in Frage kommen. Die Anzahl der Hubs wird beim p-Hub Median Problem durch den Parameter  $p$  festgelegt. Welche Hubs der Menge  $H$  im Modell schließlich aktiviert sind, wird durch die Entscheidungsvariable  $y_k$  abgebildet. Diese ist genau dann 1, wenn ein Hubknoten  $k$  aktiviert ist. Ansonsten ist sie 0 (d.h.  $y_k$  ist binär mit  $y_k \in \{1,0\}$ ).
- Im Grundmodell darf eine Verbindung von der Quelle zur Senke maximal über zwei Hubknoten führen. Dabei repräsentiert die Entscheidungsvariable  $x_{ikmj}$  jenen Anteil des Transportaufkommens, welcher über die Hubknoten  $k$  und  $m$  (der Reihenfolge nach;  $k, m \in H$ ) von Startknoten  $i$  zum Zielknoten  $j$  transportiert wird. Sie wird auch als Allokationsvariable bezeichnet.
- Die asymmetrische Matrix  $W_{ij}$  repräsentiert das Städtepaarangebot einer Fluglinie und enthält das Transportaufkommen zwischen den entsprechenden Städten. In der Folge wird auf eine weitere Differenzierung der Matrix nach direktem bzw. indirektem Aufkommen verzichtet.
- Die Kostenmatrix  $C_{ij}$  enthält die Stücktransportkosten. Dabei wird von Kosten pro Mengen- und Entfernungseinheit ( $[GE/(ME*EE)]$ ) ausgegangen, die mit der Distanz multipliziert als Kosten pro Mengeneinheit ( $[GE/ME]$ ) in das Modell einfließen.
- Ziel des Grundmodells ist die Minimierung der Gesamtkosten.
- Wird ein Hub aktiviert, so treten die dargestellten Effekte von Economies of Density, Scale und Scope im Vor-, Haupt- und Nachlauf auf.<sup>367</sup> Dies wird mit Hilfe der Faktoren  $\alpha$ ,  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  abgebildet. Im Grundmodell gilt die Annahme  $\alpha_1, \alpha_2 \geq \alpha$ .
- Im Modell finden Aktivierungskosten für Flugzeuge, mengenabhängige Parameter, sprungfixe Kosten oder pfeilbezogene Kapazitätsrestriktionen keine Berücksichtigung.

Die mathematische Formulierung des Modells lautet dementsprechend wie folgt:<sup>368</sup>

$$5.1 \quad \min K(x, y) = \sum_{i \in V} \sum_{k \in H} \sum_{m \in H} \sum_{j \in V} W_{ij} (\alpha_1 C_{ik} + \alpha C_{km} + \alpha_2 C_{mj}) x_{ikmj}$$

**s.t.:**

$$5.2 \quad \sum_{k \in H} \sum_{m \in H} x_{ikmj} = 1 \quad \forall i, j \in V; i \neq j$$

<sup>367</sup> Vgl. dazu auch Abbildung 8: Hub-Netzwerk mit Bündelungseffekten zwischen zwei großen Hubs

<sup>368</sup> Vgl. Campbell (1996), S. 925, zitiert bei: Jacquemin (2006), S. 108f

$$5.3 \quad \sum_{k \in H} y_k = p$$

$$5.4 \quad x_{ikmj} \leq y_k \quad \forall i, j \in V; i \neq j; \quad \forall k, m \in H$$

$$5.5 \quad x_{ikmj} \leq y_m \quad \forall i, j \in V; i \neq j; \quad \forall k, m \in H$$

$$5.6 \quad x_{ikmj} \geq 0 \quad \forall i, j \in V; i \neq j; \quad \forall k, m \in H$$

$$5.7 \quad y_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in H$$

In der Zielfunktion (5.1) werden die Stücktransportkosten für die Route getrennt für die einzelnen Teilsegmente berechnet, mit dem Transportaufkommen multipliziert und schließlich minimiert. Dabei kommt je nach Vor-, Haupt- oder Nachlauf ein anderer Kostendegressionsparameter  $\alpha$  zur Anwendung. Es ist durchaus denkbar, dass beispielsweise  $k = m$  gilt und somit die Verbindung über lediglich einen Hub führt.

Der Ergebnisraum des Modells ist durch die Nebenbedingungen (NB) 5.2 bis 5.7 eingeschränkt. NB 5.2 stellt sicher, dass das gesamte Transportaufkommen zwischen einem Knoten  $i$  und einem Knoten  $j$  transportiert wird. Mit NB 5.3 wird die Anzahl der Hubs auf  $p$  fixiert. NB 5.4 und 5.5 garantieren, dass ein Transport nur dann über einen Hub fließen kann, wenn dieser auch aktiviert wurde. Schließlich sichert NB 5.6 die Nichtnegativität der Entscheidungsvariablen  $x_{ikmj}$  und NB 5.7 die binäre Eigenschaft der Hub-Variable  $y_k$ . Die beiden letzteren NB können auch aggregiert und je Hub summiert dargestellt werden, was keine inhaltliche Änderung mit sich bringt, sondern lediglich die Anzahl der Nebenbedingungen reduziert.<sup>369</sup>

### 5.2.2 Adaption des Grundmodells für das betrachtete Multi-Hub Netzwerk

In der Folge wird auf jene Anpassungen des Modells eingegangen, die auf Basis des Grundmodells durchgeführt wurden, um es an den gegebenen Sachverhalt der Modellierung innereuropäischer, mehrfachverbundener Multi-Hub Netzwerke anzupassen. Dazu werden die Anpassungen zunächst beschrieben, anschließend die Parameter überblicksmäßig dargestellt und schließlich die Modellgleichungen angeführt.

#### ***Vorgenommene Anpassungen***<sup>370</sup>

Entsprechend der Ausführungen des vorigen Abschnitts wird für die Simulation ein p-Hub Medianproblem mit einer exogen gegebenen Hubanzahl verwendet. Für die hier untersuchte Fragestellung ist das p-Hub Medianproblem als Grundmodell als ausreichend einzuschätzen.

<sup>369</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 110

<sup>370</sup> In „Anhang B: Inputparameter des Simulationsmodells“ ist eine zusammengefasste Darstellung der Parameter des Simulationsmodells zu finden.



Eine wesentliche Anpassung im Vergleich zum Grundmodell stellte die Annahme dar, dass eine Verbindung zwischen Quelle und Senke im innereuropäischen und für das Modell relevanten Fall nur maximal über einen Hub ( $k \in H$ ) und nicht über zwei führen darf. Dazu wurde die Zielfunktion umgestaltet und die Entscheidungsvariable von  $x_{ikmj}$  auf  $x_{ikj}$  umgeformt. Damit gab es auch keinen Parameter  $\alpha$  für den Hauptlauf mehr, sondern es wurde dieser gleichermaßen auf Vor- und Nachlauf angewandt.

Zudem wurde das Modell nicht mehr auf die Minimierung von Kosten sondern auf die Maximierung von Einzahlungsüberschüssen (EZÜ) ausgerichtet. Dementsprechend wurde die Zielfunktion um die weiteren Inputmatrizen  $P_{ij}^D$  und  $P_{ij}^{ID}$  erweitert, die die Zahlungsbereitschaften der Passagiere in Geldeinheiten (Euro) pro Mengeneinheit [GE/ME] enthalten. Mit diesen zwei Matrizen erfolgte eine Differenzierung der Zahlungsbereitschaft der Passagiere zwischen direktem und indirektem Routing. Wie ausgeführt, sind Passagiere bereit für direkte Verbindungen im Vergleich zu indirekten mehr zu bezahlen, sodass  $P_{ij}^D \geq P_{ij}^{ID}$  gilt.<sup>371</sup> Die Höhe des Unterschieds im Preisniveau zwischen direkter und indirekter Verbindung lässt sich mit Hilfe des Parameters  $\delta$  steuern. Die im Modell berücksichtigten und mit Hilfe der Matrix  $C_{ij}$  dargestellten Kosten werden als variabel und von der einzelnen Mengeneinheit (also dem Passagier) abhängig gesehen und verwendet. Es erfolgte keine Berücksichtigung darüber hinaus gehender Kosten für zum Beispiel die Aktivierung von Flugzeugen. Auch Fixkosten zur Hub-Eröffnung wurden aufgrund der geringen Aussagekraft hinsichtlich möglicher Unterschiede zwischen Multi- und Single-Hub Netzwerken nicht berücksichtigt.

Für die Analyse wurden zudem Direktverbindungen zugelassen, womit es sich folglich um ein hybrides und kein reines Hub-and-Spoke-Netzwerk handelt.<sup>372</sup> Würde ein vom Modell erzeugtes Netzwerk nur aus Direktverbindungen bestehen, so würde es sich um ein Punkt-zu-Punkt Netzwerk handeln. Dazu wurde eine neue Entscheidungsvariable  $x_{ij}$  eingefügt, die den Anteil des Verkehrs repräsentiert, der direkt und nicht über einen Hub fließt. Dies gilt für Fälle, bei denen nicht bereits die zulässige Möglichkeit von  $i = k$  oder  $k = j$  eintritt, das heißt die „Direktverbindung“ von oder zu einem Hub führt (im Sinne von  $x_{iij}$  oder  $x_{ijj}$ ).<sup>373</sup> Auf die von Jacquemin dargestellte Nebenbedingung zur Verhinderung der Etablierung von Direktverbindungen zwischen zwei Hubs mit der Variablen  $x_{ij}$  konnte aufgrund der 1-Hub-Strategie verzichtet werden. Trotzdem war eine Nebenbedingung nötig, die verhindert, dass vom oder zum Hub führende Verkehre mit Hilfe der Variablen für Direktverbindungen und nicht mit Hilfe der indirekten modelliert wurden.<sup>374</sup>

Weiters erlaubt das Modell die Festlegung von Kapazitätslimits  $K_k$  je Hub  $k$ . Dies soll der in der Realität gegebenen Einschränkung Rechnung tragen, dass Flughäfen in ihrer Auslastung beschränkt sind. Die Kapazitätslimits können mit Hilfe des Parameters  $\mu$  festgelegt werden. Dabei stellt der in dieser Arbeit verwendete Kapazitätsbegriff auf die Anzahl der Passagiere pro Periode ab, die von einem Flughafen bedient werden können.

<sup>371</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 170ff

<sup>372</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 82

<sup>373</sup> Vgl. dazu auch Jacquemin (2006), S. 122f

<sup>374</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 129f

Jacquemin führt dabei einen auf den Flughafen bezogenen dreidimensionalen Kapazitätsbegriff an. Demnach ist die Flughafenkapazität in Bezug auf das Fassungs- und Durchlaufvermögen, auf die maximale Intensität der Nutzung und auf die mögliche Einsatzdauer beschränkt. Dieser kann, aggregiert aufgefasst, in Passagieren pro Periode ausgedrückt werden.<sup>375</sup> Dabei ist wesentlich zu beachten, dass die Kapazität auf einem Flughafen doppelt in Anspruch genommen wird, falls Passagiere einen Transfer auf einem Flughafen durchführen.<sup>376</sup>

Darüber hinaus wurden zwei weitere, im vorigen Abschnitt identifizierte Einflussfaktoren in das Modell integriert. Um die bei Multi-Hub Systemen höhere Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen abzubilden, wurde ein Modellparameter  $\beta$  etabliert, der ähnlich dem Parameter  $\alpha$  wirkt. Es wurde im Rahmen der Modellbildung davon ausgegangen, dass Verbesserungen im Ausgleichen von Nachfrageschwankungen zu geringeren Kosten für die Airline führen. Diese Kostenverbesserungen wurden im hier betrachteten Fall dementsprechend auf die Stücktransportkosten eines Fluges umgelegt. Der Parameter  $\beta$  führt dementsprechend bei indirekten Verbindungen zu geringeren Kosten für den Umsteigeverkehr. Zusätzlich fand auch die Flugfrequenz Eingang in das Modell. Mit Hilfe des Parameters  $\lambda$  ließ sich eine höhere Zahlungsbereitschaft für indirekte Multi-Hub Verbindungen aufgrund einer höheren angebotenen Frequenz abbilden.

Schließlich wurde noch eine weitere Nebenbedingung in das Modell eingefügt, um einen speziell in einem Multi-Hub System minimale Flüsse über beide Hub-Knoten sicherzustellen. Spezifiziert wurde dieser minimale Fluss mit Hilfe des Parameters  $\gamma$ . Dies ist deshalb nötig, da im Rahmen der Simulation die Parameter exogen vorgegeben werden und diese im Falle des mehrfachangebundenen Multi-Hub Systems eben nur dann gültig sind, wenn dieses auch mehrfachangebunden ist. Würde auf die Nebenbedingung verzichtet, so würde das Netzwerk mit den Parametern des mehrfachverbundenen Multi-Hub Netzwerks arbeiten (abgesehen von Dichte- und Größenvorteilen, die auch bei Single-Hub Systemen wirken), auch wenn am Ende die Lösung gar nicht mehrfachangebunden wäre. Die Nebenbedingung ist dabei nur dann einschränkend, wenn sich das Modell für mehr als die damit erlaubten Punkt-zu-Punkt Verbindungen entscheiden würde. Erst dann führt die Nebenbedingung zu einer Verschlechterung des Zielfunktionswertes. Wird jedoch mehr als das durch  $\gamma$  vorgegebene Minimum über die Hubs geroutet, so ist es offenbar attraktiv dies im Sinne einer Maximierung der Einnahmungsüberschüsse durchzuführen. Das Single-Hub Netzwerk bleibt durch die Nebenbedingung so wenig eingeschränkt wie möglich.

Dementsprechend wurden die verschiedenen, für Multi-Hub Systeme wesentlichen Faktoren zusammengefasst und wie folgt im Modell abgebildet:

---

<sup>375</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 146

<sup>376</sup> Vgl. Jacquemin (2006), S. 148f

Faktor	Aufnahme	Beschreibung der Art der Aufnahme	Parameter
<b>Flugbetriebsbezogene Faktoren</b>			
Economies of Density, Scale und Scope	<input checked="" type="checkbox"/>	Eigener Faktor im Modell (Beeinflusst Stücktransportkosten)	$\alpha$
Notwendige Anzahl an Verbindungen und Flügen	<input type="checkbox"/>	Implizit im Modell enthalten	$x$
Streckenlängen und Streckenkosten	<input type="checkbox"/>	Durch beispielhaftes Streckennetz und dessen Kostenmatrix abgebildet	$C$
Flugzeugauslastung	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine direkte Berücksichtigung (Indirekt in Kosten enthalten)	n/a
Fehlerwahrscheinlichkeit des Netzwerks	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine Berücksichtigung	n/a
Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen	<input checked="" type="checkbox"/>	Eigener Faktor im Modell (Beeinflusst Stücktransportkosten)	$\beta$
<b>Passagierindividuelle Faktoren</b>			
Reise- und Flugdauer	<input type="checkbox"/>	Zahlungsbereitschaften der Passagiere mit Preismatrizen abgebildet	$P$
Unterschiede in der Flugfrequenz und des Schedule Delay	<input checked="" type="checkbox"/>	Eigener Faktor im Modell (Beeinflusst Zahlungsbereitschaften)	$\lambda$
Wahlmöglichkeit des Transferpunktes	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine Berücksichtigung	n/a
Angebot an Flugverbindungen	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine Berücksichtigung	n/a
<b>Infrastrukturbezogene Faktoren</b>			
Kapazitätsbeschränkungen an Airports	<input checked="" type="checkbox"/>	Durch Nebenbedingung abgebildet	NB
Kapazitätsbeschränkungen in der Luft	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine Berücksichtigung	n/a
Komplexitätskosten an Flughäfen	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine Berücksichtigung	n/a
Hub-Fixkosten	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine Berücksichtigung	n/a
<b>Strategische Unternehmensfaktoren</b>			
Asymmetrisch verteilte Nachfrage	<input type="checkbox"/>	Passagiernachfrage mit Nachfragematrix abgebildet	$W$
Marktmacht an Flughäfen	<input checked="" type="checkbox"/>	Durch Frequenzfaktor bereits in Richtung der Auswirkung berücksichtigt; Weiterer Erklärungsgrund für einen Teil der Auswirkung	$\lambda$
Marktmacht von Flughäfen	<input checked="" type="checkbox"/>	Durch Verlässlichkeitsfaktor bereits in Richtung der Auswirkung berücksichtigt; Weiterer Erklärungsgrund für einen Teil der Auswirkung	$\beta$
Luftfahrtrechtliche Aspekte	<input checked="" type="checkbox"/>	Keine Berücksichtigung	n/a
<input checked="" type="checkbox"/> Keine Aufnahme in das Modell <input type="checkbox"/> Konstanter, nicht variierter Inputparameter/ Implizite Aufnahme <input checked="" type="checkbox"/> Veränderbarer, untersuchter Parameter/ Direkte Aufnahme			

Tabelle 15: Abbildung von im Multi-Hub Kontext diskutierten Faktoren im Modell<sup>377</sup><sup>377</sup> Eigene Darstellung

## Modellgleichungen

$$\begin{aligned}
5.8 \quad \text{Max } EZ\ddot{U}(x, y) = & \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} W_{ij} (P_{ij}^D - C_{ij}) x_{ij} + \sum_{i \in H} \sum_{\substack{j \in V \\ i \neq j}} W_{ij} (\lambda * P_{ij}^D - \alpha * \beta * C_{ij}) x_{ij} \\
& + \sum_{i \in V} \sum_{j \in H} W_{ij} (\lambda * P_{ij}^D - \alpha * \beta * C_{ij}) x_{ij} \\
& + \sum_{i \in V} \sum_{\substack{k \in H \\ k \neq i}} \sum_{\substack{j \in V \\ j \neq k}} W_{ij} (\lambda * P_{ij}^{ID} - \alpha * \beta * (C_{ik} + C_{kj})) x_{ikj}
\end{aligned}$$
$$5.9 \quad P_{ij}^D = \delta * P_{ij}^{ID}$$
$$5.10 \quad x_{ij} + \sum_{k \in H} x_{ikj} \leq 1 \quad \forall i, j \in V; i \neq j$$

$$5.11 \quad \sum_{k \in H} y_k = p$$

$$5.12 \quad x_{ikj} \leq y_k \quad \forall i, j \in V; i \neq j \quad \forall k \in H$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} 2W_{ij} x_{ikj} - \sum_{i \in V} W_{ik} x_{ikk} - \sum_{j \in V} W_{kj} x_{kkj} &\leq K_k y_k \\ K_k &= \mu * 2 \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} W_{ij} \end{aligned} \quad \forall k \in H$$

$$5.14 \quad x_{ik} + x_{ki} + 2y_k \leq 2 \quad \begin{array}{l} \forall i \in V \\ \forall k \in H \\ i \neq k \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
5.15 & x_{ikj} \geq \gamma * y_k * (p - 1) \qquad \begin{array}{l} \forall i, j \in V; \\ i \neq j; i, j \notin H \\ \forall k \in H \end{array} \\
5.16 & x_{ij} \geq 0 \qquad \forall i, j \in V; i \neq j \\
5.17 & x_{ikj} \geq 0 \qquad \begin{array}{l} \forall i, j \in V; i \neq j \\ \forall k \in H \end{array} \\
5.18 & y_k \in \{0, 1\} \qquad \forall k \in H
\end{array}$$

Die Zielfunktion (5.8) maximiert Einzahlungsüberschüsse in Abhängigkeit von zwei Variablen. Sie berücksichtigt Direkt- und 1-Hub-Verbindungen. Dabei bestehen getrennte Ermittlungsfunktionen für direkte und indirekte Verbindungen, wobei für indirekte dann getrennte Terme gebildet wurden, wenn direkte Preise anzuwenden sind. Den Zusammenhang zwischen direkten und indirekten Preisen gibt Formel 5.9 an.

Nebenbedingung (NB) 5.10 sichert ab, dass nicht mehr als das nachgefragte Transportvolumen befördert wird. NB 5.11 fixiert die Anzahl der zulässigen Hubs auf  $p$ . NB 5.12 stellt sicher, dass für Transportströme nur dann eine Hub-Route gewählt wird, wenn diese auch aktiviert wurde. Hier wurde auf eine aggregierte Form der Darstellung verzichtet und, aufgrund der in diesem Beispiel geringen Anzahl an daraus resultierenden Nebenbedingungen, ein ähnlicher Ansatz wie bei Campbell gewählt.<sup>378</sup> NB 5.13 repräsentiert die Kapazitätsbeschränkung auf Hubs und stellt sicher, dass nur jene Menge zulässigerweise über einen aktivierten Hub transportiert wird, die dieser auch verkraftet.<sup>379</sup> Die Kapazität wird dabei als Prozentwert in Abhängigkeit des gesamten Mengenflusses dargestellt. NB 5.14 schließt aus, dass von einem Hubknoten aus Direktverbindungen angeboten werden, die nicht mit Hilfe der indirekten Entscheidungsvariablen modelliert werden. Dies soll sicherstellen, dass auch auf vom Hub direkt angebotenen Routen die festgelegten Parameter Anwendung finden. Zudem sichert diese Nebenbedingung, dass die Kapazitätsbeschränkungen auf Hubs richtig berechnet werden. NB 5.15 stellt die bereits begründete Einschränkung dar, dass von einer Destination zu einer anderen ein minimaler Fluss über jeden der Hubs führen muss, damit eine Mehrfachverbundenheit sichergestellt ist. Deshalb gilt diese Nebenbedingung aufgrund des Zusatzes „ $*(p - 1)$ “ nur dann, wenn ein Multi-Hub Netzwerk vorliegt.<sup>380</sup> NB 5.16 und 5.17 stellen Nicht-Negativitätsbedingungen dar und NB 5.18 stellt schließlich sicher, dass Hubs ganz oder gar nicht aktiviert werden.

Der im Modell mit  $x_{kkm}$  und  $x_{kmm}$  ( $k, m \in H$ ) doppelt modellierte und behandelte Fall wurde nicht durch eine weitere NB aufgefangen, nachdem eine aufgeteilte Behandlung

<sup>378</sup> Vgl. Campbell (1996), S. 925

<sup>379</sup> Vgl. dazu auch die Formulierung von Jacquemin (2006, S. 150) für Systeme mit der Möglichkeit von zwei Hub-Stops.

<sup>380</sup> Würden im Multi-Hub Netzwerk anders als im hier verwendeten Simulationsmodell mehr als 2 Hubs möglich sein, könnte die Nebenbedingung nicht in dieser Form aufrecht bleiben. Für das hier gewählte Beispiel mit  $p \leq 2$  ist die Formulierung der Nebenbedingung in dieser Form jedoch ausreichend.

im Modell aufgrund dessen Linearität zu keinen veränderten Einzahlungsüberschüssen führt und somit das Ergebnis nicht beeinträchtigt.

### 5.3 Simulation anhand eines Beispiels

In der Folge wird das für die Simulation verwendete Beispiel näher beschrieben, die verwendeten Parameterkonstellationen und Fälle dargestellt und die Ergebnisse der Analyse abschließend präsentiert.

#### 5.3.1 Darstellung des Beispiels

Als Beispiel für die Simulation wurde eine Netzwerkkonstellation mit fünf Knoten untersucht. Dabei wurde das Modell zum Teil an Lufthansa als Referenz angelehnt, wenn bestimmte Richtwerte für Inputparameter notwendig waren. Berücksichtigung fanden im Modell folgende europäischen Flughäfen, wobei lediglich Frankfurt und München als für Hubs in Frage kommend (also  $MUC, FRA \in H$ ) gesehen wurden:<sup>381</sup>

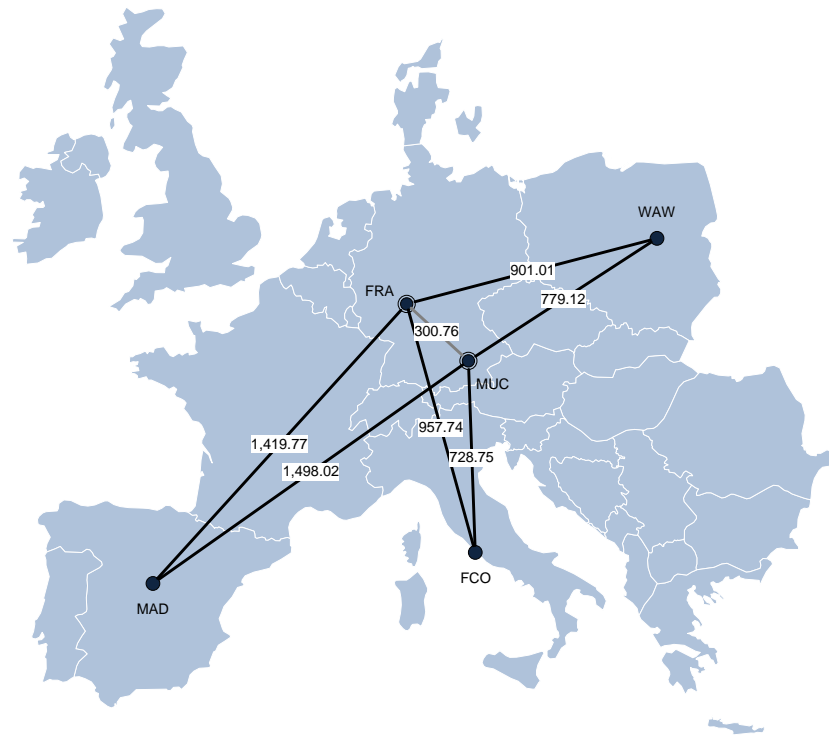
Flughafen	IATA-Code	Land	Stadt
Flughafen Frankfurt am Main	FRA	Deutschland	Frankfurt am Main
Flughafen München Franz Josef Strauß	MUC	Deutschland	München
Flughafen Madrid Barajas	MAD	Spanien	Madrid
Flughafen Rom Fiumicino Leonardo da Vinci	FCO	Italien	Rom
Flughafen Warschau Frederic Chopin	WAW	Polen	Warschau

**Tabelle 16: Im Simulationsmodell verwendete europäische Flughäfen<sup>382</sup>**

Die Flughäfen sind dabei wie folgt in Europa verteilt:

<sup>381</sup> In der Excel-Arbeitsmappe wurde das Simulationsmodell dabei dynamisch erstellt, sodass die konkrete Ausprägung der fünf Knoten des Modells aus einer größeren Menge an Knoten leicht gewählt werden kann. Dies würde jedoch auch die Untersuchung weiterer Konstellationen einfach zulassen.

<sup>382</sup> Eigene Darstellung



**Abbildung 31: Im Simulationsmodell verwendete Flughäfen und deren Entfernung [KM] zu den möglichen Hubs Frankfurt (FRA) und München (MUC)<sup>383</sup>**

Die Auswahl von Frankfurt (FRA) und München (MUC) als mögliche Hubs erfolgte aufgrund ihrer zentralen und eng beieinander liegenden Lage in Europa. Madrid (MAD) wurde gewählt, nachdem dieser Flughafen in größerer Entfernung von FRA und MUC liegt. Warschau (WAW) fand Berücksichtigung aufgrund der relativ direkten Verbindung über die möglichen Hubs FRA und MUC nach MAD. Schließlich wurde Rom (FCO) aufgrund des beinahe rechten Winkels einer Hub-Verbindung zu den bereits aufgenommenen Hub-Verbindungen und der relativ geringen Distanz zu MAD gewählt.

### 5.3.2 Aufbau der Sensitivitätsanalyse

Dem Vorschlag von Bryan und O’Kelly entsprechend wurde als Analysemethode eine Sensitivitätsanalyse eingesetzt.<sup>384</sup> Diese dient der Untersuchung der Auswirkung der Änderung verschiedener Parameter auf die Zielfunktion. Dazu wurden für Single-Hub Systeme ( $p = 1$ ) einerseits und für Multi-Hub Netzwerke ( $p = 2$ ) andererseits verschiedene Fälle generiert, für die die Auswirkung der Parameterkonstellationen auf die Zielfunktion untersucht wurde. Bei Single-Hub Netzwerken wurde eine weitere Unterscheidung getroffen. Einerseits wurde jener Fall untersucht, bei der das Modell den Hub frei wählen kann und andererseits jener, bei der der schlechtere der beiden möglichen

<sup>383</sup> Eigene Darstellung

<sup>384</sup> Vgl. Bryan/O’Kelly (1999), S. 290

Hubs vorgegeben wurde.<sup>385</sup> Die verschiedenen möglichen Fälle sind zusammenfassend in folgender Abbildung näher dargestellt:

Parameter		Fälle Single-Hub	Fälle Multi-Hub
<b>Kapazitätsrestriktionen</b>		<b>2</b>	<b>2</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschränkung der verfügbaren Kapazität der Hub-Knoten im Modell</li> <li>Nachfrage kann nur bis zum Erreichen der Kapazitätsgrenze bedient werden</li> <li>Keine Unterschiede zwischen Single- und Multi-Hub</li> </ul>	$\mu$ %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ja</li> <li>Nein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ja</li> <li>Nein</li> </ul>
<b>Unterschiede im Preisniveau zw. direkter/indirekter Verbindung</b>		<b>2</b>	<b>2</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zahlungsbereitschaft für Direktverbindungen ist höher als für Umsteigeverbindungen</li> <li>Parameter legt Differenz der Zahlungsbereitschaft fest – um wie viel ist direkter Preis höher als indirekter</li> <li>Keine Unterschiede zwischen Single- und Multi-Hub</li> </ul>	$\delta$ %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nieder</li> <li>Hoch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nieder</li> <li>Hoch</li> </ul>
<b>Economies of Density/ Scale/ Scope</b>		<b>2</b>	<b>6</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dichte- und Mengenvorteile in Hub-Systemen bewirken geringere Kosten der Umsteigeverbindungen</li> <li>Zwei unterschiedliche Niveaus bei Single-Hub Systemen</li> <li>Untersuchung der Auswirkung geringerer Dichte- und Mengenvorteile bei Multi-Hub Systemen</li> </ul>	$\alpha$ %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nieder</li> <li>Hoch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gleich Single-Hub (Nieder)</li> <li>Kleiner Single-Hub (Nieder)</li> <li>Viel kleiner Single-Hub (Nieder)</li> <li>Gleich Single-Hub (Hoch)</li> <li>Kleiner Single-Hub (Hoch)</li> <li>Viel kleiner Single-Hub (Hoch)</li> </ul>
<b>Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen</b>		<b>1</b>	<b>3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mehrfachverbundenheit führt in Multi-Hub Systemen zu kostenmäßigen Vorteilen durch Nachfragebündelung</li> <li>Untersuchung der Auswirkung geringerer Kosten aufgrund der Nachfragebündelung</li> </ul>	$\beta$ %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nicht vorhanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nicht vorhanden</li> <li>Nieder</li> <li>Hoch</li> </ul>
<b>Flugfrequenz und Schedule Delay</b>		<b>1</b>	<b>3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zahlungsbereitschaft ist höher für eine größere Anzahl von Flugverbindungen</li> <li>Untersuchung der Auswirkung einer höheren Zahlungsbereitschaft auf Umsteigeverbindungen bei Mehrfachanbindung der Destinationen</li> </ul>	$\lambda$ %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nicht vorhanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nicht vorhanden</li> <li>Nieder</li> <li>Hoch</li> </ul>
<b>Summe</b>		<b>8</b>	<b>216</b>

**Abbildung 32: Parameter und untersuchte Fälle der Sensitivitätsanalyse<sup>386</sup>**

Insgesamt erfolgt deshalb eine Analyse von  $2 * 8 + 216 = 232$  unterschiedlichen Fällen im Fünf-Knoten-Netzwerk. Im folgenden Teil sollen die verwendeten Inputparameter näher erläutert werden.

<sup>385</sup> In diesem Beispiel ist dies FRA, aufgrund der längeren Gesamtdistanz zu den anderen Knoten im Vergleich zu MUC.

<sup>386</sup> Eigene Darstellung. Die Fälle für Single-Hub Systeme treffen für beide untersuchten Varianten zu.



### 5.3.1 Darstellung der Inputparameter<sup>387</sup>

Als Basis für die Berechnung von Kosten und Erlösen wurden die direkten Entfernungen zwischen den Flughäfen auf der Erdoberfläche verwendet.<sup>388</sup> Die Kosten wurden streckenlängenabhängig berechnet, wobei die von Doganis vorgegebene Abhängigkeit bei einem Linienflugzeug des Typs Airbus A321 zugrunde gelegt wurde.<sup>389</sup> Mit Hilfe einer Regressionsfunktion der Form  $y = a * x^b$  wurde eine Kostenfunktion bestimmt, welche die Kosten in Euro Cent pro verfügbaren Sitzplatzkilometer wiedergibt. Dazu wurden die Werte von Doganis in Euro Cent umgerechnet.<sup>390</sup> Nachdem für das Simulationsmodell die Kosten pro verkauften Sitzplatzkilometer entscheidend sind, um diese den Erlösen gegenüberstellen zu können und realistische Werte zu erhalten, wurden die Zahlen mit Hilfe des durchschnittlichen Sitzladefaktors der „Lufthansa Passage“ 2009 umgerechnet.<sup>391</sup> Schließlich wurden durch Multiplikation mit der Entfernung die Kosten pro Passagier berechnet.

Zur Bestimmung der Erlöse pro Passagier zwischen einem indirekt verbundenen Städtepaar wurde der durchschnittliche Umsatz pro verkauften Sitzkilometer der Lufthansa Passage 2009 zugrunde gelegt.<sup>392</sup> Dieser wurde schließlich mit der Entfernung multipliziert. Nachdem dieser Wert lediglich die Höhe der Erlöse verändert<sup>393</sup> und in der Analyse lediglich Unterschiede, jedoch nicht die absoluten Höhen der Zielfunktionswerte eine Rolle spielen, wurde in der Arbeit die durch den Wert entstehende Verzerrung ignoriert, da sich dieser auf das gesamte Lufthansa-Streckennetz bezieht und damit auch Direktverbindungen beinhaltet. Im Modell wurde der Erlös der direkten Verbindungen durch Multiplikation mit dem Faktor  $\delta$  bestimmt.

Als Grundlage für die Abschätzung des Passagieraufkommens zwischen den verschiedenen Städten wurde das Gravitätsmodell herangezogen.<sup>394</sup> Dieses fußt auf der Annahme, dass der Verkehr und Austausch zwischen zwei Orten von deren Größe positiv und von deren Entfernung negativ abhängt. Dies wird durch die Formel  $T_{ij} = k \frac{P_i P_j}{d_{ij}}$  ausgedrückt, wobei  $P_i$  und  $P_j$  für die Größe (auch „Masse“) der Orte stehen und  $d_{ij}$  deren Entfernung repräsentiert. Der Faktor  $k$  dient der Kalibrierung.<sup>395</sup> Im hier verwendeten Simulationsmodell wurde zur Kalibrierung die Summe des von Eurostat für 2008 ermit-

<sup>387</sup> Die Details zu den einzelnen Inputparametern sind in „Anhang B: Inputparameter des Simulationsmodells“ zu finden.

<sup>388</sup> Vgl. dazu Air Routing International (2010): <http://www.airrouting.com>

<sup>389</sup> Vgl. Doganis (2002), S. 131

<sup>390</sup> Die somit bestimmte Kostenfunktion (in Euro Cent pro RPK in Abhängigkeit der Entfernung in Kilometer lautet somit  $y = 42,447 * x^{-0,354}$  bei einem  $R^2 = 0,9733$  im Vergleich zur Funktion nach den von Doganis angegebenen Datenpunkten.

<sup>391</sup> Vgl. Lufthansa (2010), S. 74. Siehe dazu auch Abbildung 37 in „Anhang B: Inputparameter des Simulationsmodells“.

<sup>392</sup> Vgl. dazu ebenfalls Lufthansa (2010), S. 74

<sup>393</sup> Es wird von einem positiven Deckungsbeitrag auf allen möglichen Verbindungen ausgegangen.

<sup>394</sup> Dies entspricht der Annahme von Wojahn, der ebenfalls eine asymmetrische Nachfrage mit Hilfe des Gravitätsmodells modellierte. Er verzichtet jedoch auf den Einbezug von Entfernungen. Vgl. Wojahn (2001), S. 269

<sup>395</sup> Vgl. Rodrigue (2009), <http://people.hofstra.edu>. Als Input wurden die von Eurostat angegebenen Einwohner der Stadtregion verwendet. Vgl. Eurostat (2010b), <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>. Die Regionengrößen wurden dabei als repräsentativ für das Einzugsgebiet des Flughafens vorgegeben. Durch die vorgenommene Kalibrierung können proportionale Größenunterschiede vernachlässigt werden.

telten Passagieraufkommens zwischen den modellierten Flughäfen verwendet.<sup>396</sup> Dabei handelt es sich um Daten, die sich auf den Verkehr zwischen den Flughäfen beziehen und dabei nicht auf den Ziel- und Startflughafen der Passagiere bezogen sind. Aus diesem Grund überschätzt die Summe das tatsächliche Aufkommen zwischen den Städten. Da aufgrund eines Anteils der Transferpassagiere von 52% in FRA und von 37% in MUC<sup>397</sup> davon auszugehen ist, dass ein erheblicher Teil der zwischen den Städten gezählten Passagiere mit einer weiteren Flugnummer zu einem anderen Ziel als eine der Flughäfen des Simulationsmodells fliegt, wurde vor der Kalibrierung eine pauschale Korrektur der Gesamtsumme um ein Drittel (33,3%) vorgenommen.

Der Parameter für den minimalen Fluss von Spokes über jeden Hub wurde auf 30% gesetzt. Dies hat zur Folge, dass mehr als die Hälfte des Verkehrs über die Hubs geleitet werden muss. Zwar wird dadurch, wie beschrieben, die Freiheit des Modells beschränkt, jedoch kann damit in den Multi-Hub Fällen tatsächlich von einem mehrfachverbundenen System ausgegangen werden, welches die Annahme höherer Frequenzen und anderer im vorigen Abschnitt genannter Vorteile rechtfertigt.

Neben den soeben beschriebenen nicht variierten Inputparametern wurden für die anderen Parameter des Simulationsmodells (Vgl. Abbildung 32) verschiedene Abstufungen unterschieden. Diese wurden in allen Kombinationen als Inputs für die verschiedenen Fälle verwendet und seien in der folgenden Tabelle angeführt:

---

<sup>396</sup> Vgl. Eurostat (2010a), <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>. Zum Zeitpunkt des Abrufs lagen die Daten für das Gesamtjahr 2009 noch nicht abrufbar vor. Bei Passagierdaten im Luftverkehr gilt es normalerweise „Origin/Destination“ und „Flight Stage“ Daten zu unterscheiden. Bei ersteren werden Passagiere am Start- bzw. Endflughafen eines Fluges, identifiziert nach der Flugnummer und unabhängig von dazwischen auftretenden Zwischenstopps, gezählt. Bei letzteren wird nach jedem Start bzw. jeder Landung gezählt. Dadurch mögliche Unterschiede in den Daten werden hier vernachlässigt, nachdem davon auszugehen ist, dass die ausgewählten Flüge innerhalb der EU im Normalfall nach jeder Landung die Flugnummer wechseln. Vgl. Eurostat (o.J.), S. 13f

<sup>397</sup> Vgl. Flughafen München (2009a), S. 30 sowie Fraport (2010), S. 46

Parameterabstufung	Wert
<b><math>\mu</math>   Kapazitätsrestriktionen</b>	
Ja	35%
Nein	120%
<b><math>\delta</math>   Unterschiede im Preisniveau zw. direkter/indirekter Verbindung</b>	
Nieder	105%
Hoch	120%
<b><math>\alpha</math>   Economies of Density/ Scale/ Scope</b>	
Gleich SH Nieder	80%
Kleiner SH Nieder	90%
Viel kleiner SH Nieder	95%
Gleich SH Hoch	60%
Kleiner SH Hoch	75%
Viel kleiner SH Hoch	90%
<b><math>\beta</math>   Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen</b>	
Nicht vorhanden	100%
Nieder	95%
Hoch	90%
<b><math>\lambda</math>   Flugfrequenz und Schedule Delay</b>	
Nicht vorhanden	100%
Nieder	110%
Hoch	120%

**Tabelle 17: In der Simulation verwendete, abgestufte Inputparameter<sup>398</sup>**

Für die Kapazitätsbeschränkung wurde entweder ein Wert verwendet, der mit Sicherheit keine Einschränkung hervorruft oder aber ein Wert, der mit Sicherheit zu einer Kapazitätsbeschränkung auf den Hubflughäfen führt. Für die Unterschiede im Preisniveau zwischen direkter und indirekter Verbindung wiederum wurde einerseits mit 110% des indirekten Preises ein niedrigerer Wert und andererseits mit 130% ein hoher gewählt. Für Economies of Density, Scale und Scope erfolgt bei Single-Hub Systemen mit „nieder“ und „hoch“ lediglich eine zweistufige Differenzierung, während bei Multi-Hub Systemen vier weitere Fälle hinzugenommen wurden, die verschiedene Grade der Verschlechterung der Dichte- und Größenvorteile repräsentieren. Bei der Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen und einem höheren Preisniveau aufgrund einer besseren Flugfrequenz soll durch die Wahl der Parameter die Verbesserungsmöglichkeit durch die Verwendung eines Multi-Hub Systems Berücksichtigung finden. Dazu wurde bei beiden Parametern im Single-Hub System 100% angenommen und bei Multi-Hub Netzwerken zusätzlich eine niedrigere und eine hohe Auswirkung des Faktors abgebildet.

<sup>398</sup> Eigene Darstellung

### 5.3.2 Berechnung

Das Transportproblem wurde mit Hilfe eines Microsoft Excel-Modells gelöst. Dazu wurde eine Excel-Arbeitsmappe angelegt, welche die Inputparameter auf den verschiedenen Blättern derselben enthält. Die Zielfunktion und die Nebenbedingungen wurden so auf einem Arbeitsblatt zusammengefasst, dass es mit Hilfe des Add-In Programms „Excel Solver“ möglich war, jeden einzelnen Fall zu optimieren.<sup>399</sup>

Für die automatische Berechnung der 232 verschiedenen Fälle wurde ein Microsoft Excel Visual Basic for Applications Makro programmiert, welches die möglichen Parameter einliest und die verschiedenen Fälle als Kombination der Parameter setzt. Jeder Fall wurde mit Hilfe von Excel Solver optimiert und das Ergebnis in ein eigenes Tabellenblatt übertragen.

Dabei wurden mehrere Daten je Fall zusammengefasst dargestellt. Neben dem Zielfunktionswert war dies die Summe der über Direktverbindungen transportierten Anteile ( $\sum x_{ij}$ ), die Summe der über Hubverbindungen transportierten Anteile ( $\sum x_{ikj}$ ) sowie welche Anteile zwischen den verschiedenen Spokes (MAD, FCO und WAW) transportiert wurden. Weiters wurde angegeben, ob die Kapazität eines möglichen Hubs, wenn er als Hub verwendet wurde, ausgenutzt wurde. Schließlich wurde noch je Fall angegeben, ob der Solver eine optimale Lösung finden konnte.<sup>400</sup> Eine Auflistung der Ergebnisse kann in „Anhang D: Ergebnisse der 232 Fälle“ gefunden werden.

### 5.3.3 Ergebnisse<sup>401</sup>

Bei der Interpretation der Ergebnisse des Simulationsmodells ist eine wesentliche Eigenschaft des p-Hub Medianproblems mit Mehrfachanbindung zu beachten. Für eine vorgegebene Anzahl an Hubknoten (in diesem Beispiel  $p \in \{1,2\}$ ) wird im Modell die Zielfunktion maximiert und dabei können entweder Verbindungen über den/ die Hub(s) oder Direktverbindungen gewählt werden. Werden bei  $p = 1$  Flughäfen nur direkt verbunden<sup>402</sup>, so entsteht ein P2P Netzwerk. Werden in diesem Fall Passagiere über den Hub geroutet, kann argumentiert werden, dass das SH System Vorteile (unter der gegebenen Parameterkonstellation) generiert. Im Falle  $p = 2$  sichert NB 5.15 ab, dass eine minimale Menge an Passagieren von den Spokes über die Hubs geleitet werden. Wird in manchen Fällen aber weniger als die maximal (noch) mögliche Menge auf Direktverbindungen transportiert, so kann analog argumentiert werden, dass das MH System wirtschaftlich von Vorteil ist.

<sup>399</sup> Die genauen Einstellungen des Excel Solvers können in „Anhang C: Einstellungen für Excel Solver“ gefunden werden.

<sup>400</sup> Der Solver fand zu allen 232 linearen Modellen eine Lösung, wobei jeweils alle Nebenbedingungen eingehalten wurden.

<sup>401</sup> Die Ergebnistabellen befinden sich im Detail in „Anhang D: Ergebnisse der 232 Fälle“.

<sup>402</sup> Abgesehen der vom Hub direkt ausgehenden Verbindungen. Die Kosten dieser Verbindungen werden im Modell trotzdem mit den Dichtevorteilen bewertet, da in der Realität diese Dichtevorteile aufgrund eines größeren Streckennetzes resultieren und diese somit vom Hub aus in dem hier vorliegenden Beispiel als gegeben gesehen wurden.

Grundsätzlich wurde die Bündelung von Verkehren mit einem SH Netzwerk in der beispielhaften Simulation nur dann vorteilhafter als das direkte Routing eingeschätzt, wenn die Unterschiede im Preisniveau zwischen direkter und indirekter Verbindung (UPN) nieder und die Economies of Density, Scale und Scope (EDSS) hoch waren. Bei hohen UPN, welche als Zahlungsbereitschaften gesehen werden können, wurde immer das P2P Netzwerk bevorzugt selektiert und alle Spokes direkt verbunden. Dies deckt sich mit Hendricks, Piccione und Tan, die ebenfalls ein SH Netzwerk bei ausreichend hohen Dichtevorteilen sehen.<sup>403</sup> In den nun folgenden Schlussfolgerungen wird zunächst von diesen niederen UPN ausgegangen.

Dabei sind die Unterschiede zwischen jenen SH Netzwerken, bei denen FRA als Hub vorgegeben wurde, und jenen, bei denen das Modell den Hub frei wählen konnte, in Bezug auf die erzielten Einzahlungsüberschüsse als gering zu bewerten. Die Differenz betrug unter ein Prozent der Zielfunktionswerte. Auf die Netzwerkgestaltung hatte der schlechtere Hub insoweit Einfluss, als im oben beschriebenen, für offene SH Netzwerke günstigsten Fall noch vermehrt auf Direktverbindungen zurückgegriffen wurde. In der Folge bezieht sich „SH Netzwerk/System“ deshalb stets auf jenes, mit einem durch das Modell frei ermittelten Hub.

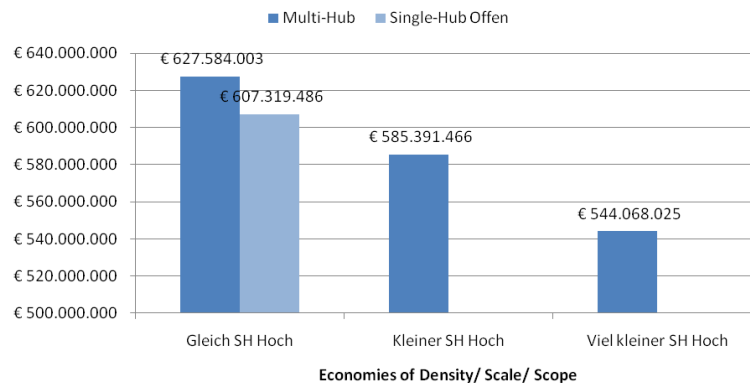
Sind die Kapazitäten auf dem Hub-Flughafen beschränkt, dann sind die Möglichkeiten des SH Systems aufgrund der Möglichkeit der Nutzung lediglich eines Flughafens begrenzt. Im MH Netzwerk hingegen bestehen keinerlei Unterschiede in den Zielfunktionswerten (und der Summe der über Direktverbindungen gerouteten Anteile) zwischen jenen Fällen, die nicht durch Kapazitätsbeschränkungen limitiert sind und jenen, die durch solche eingeschränkt sind.<sup>404</sup> Insoweit reicht es bei MH Netzwerken aus, die nicht durch Hub-Kapazitäten beschränkte Variante zu betrachten.

Aufgrund der im Modell günstigen Anbindung von Routen aus dem Hub heraus, ist das MH System im Vergleich zum oben dargestellten vorteilhaften SH System mit hohen EDSS *ceteris paribus* profitabler. Dabei werden jedoch noch keine Effekte durch geringere Dichte- und Größenvorteile im Flugbetrieb oder höhere Zahlungsbereitschaften aufgrund größerer Frequenz integriert. Berücksichtigt man schlechtere EDSS (egal ob von hoher oder niederen im SH Netzwerk ausgegangen wird), so führt dies dazu, dass nur das vorgegebene Mindestmaß über die Hubs des Systems befördert wird und das Single-Hub System gemäß der Zielfunktion vorteilhafter wäre.

---

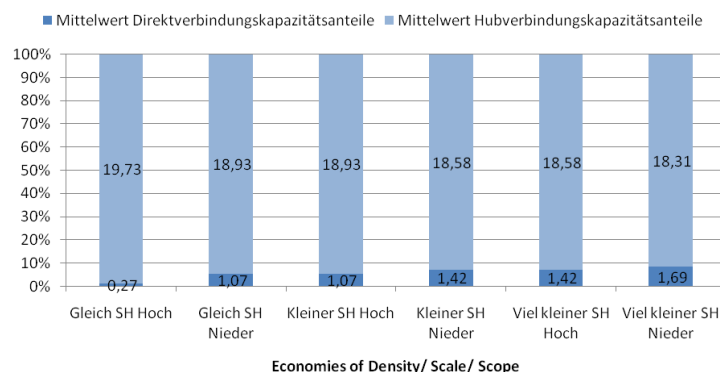
<sup>403</sup> Vgl. Hendricks/Piccione/Tan (1995), S. 96

<sup>404</sup> Die Differenz der Zielfunktionswerte je Fall, *ceteris paribus* die anderen Parameter, ergibt null.



**Abbildung 33: Einzahlungsüberschüsse verschiedener Netzwerktopologien nach EDSS bei niederen Unterschieden UPN ohne Kapazitätsbeschränkungen und weitere MH Vorteile<sup>405</sup>**

Wenn man die Summen der über Hub- und der über Direktverbindungen gerouteten Verkehre im Mittel der obigen Paramter vergleicht, dann sind die Effekte von EDSS in MH Netzwerken bei niederen UPN deutlich zu sehen.<sup>406</sup> Dies ist in Abbildung 34 dargestellt.



**Abbildung 34: Auswirkungen von EDSS in MH Netzwerken bei niederen Unterschieden in den Zahlungsbereitschaften für direkte und indirekte Verbindungen<sup>407</sup>**

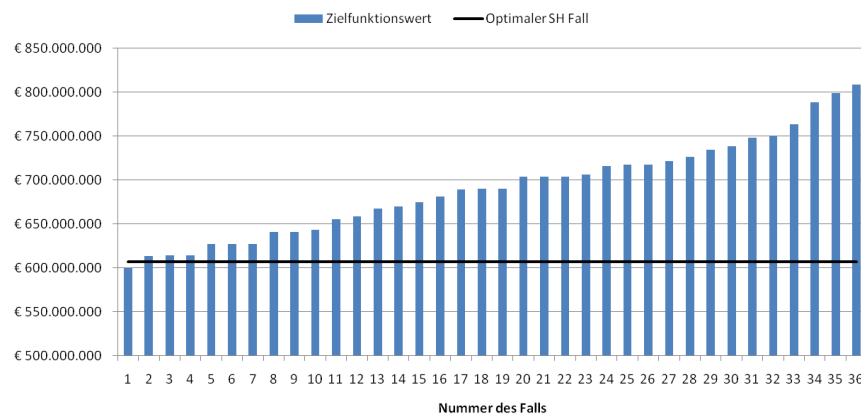
Wie in der Abbildung deutlich ersichtlich, wird bei EDSS, die denen von SH Netzwerken entsprechen, unabhängig von Zahlungsbereitschaften für Flugfrequenzen und Kosteneinsparungen durch eine höhere Nachfragestetigkeit, im Mittel zu einem hohen Teil auf Direktverbindungen zu Gunsten von Verbindungen über die Hubs verzichtet. Sind die EDSS im Multi-Hub System wesentlich schlechter, so wird zur Einzahlungsüberschussmaximierung deutlich mehr auf Direktverbindungen zurückgegriffen.

<sup>405</sup> Eigene Darstellung

<sup>406</sup> Der Wert 20 ( $4 * 5$ ) ist das Maximum. In MH Netzwerken stellt 2,4 das Maximum für die Summe der über Direktverbindungen gerouteten Anteile dar (aufgrund der einschränkenden Nebenbedingung 5.15). In SH Netzwerke ist der höchste erreichte Wert für diese Summe 12, nachdem Verbindungen vom und zum Hub als Hub-Verbindungen modelliert werden.

<sup>407</sup> Eigene Darstellung

Wird von niedrigeren UPN ausgegangen und wirkt sich eine höhere Flugfrequenz positiv auf die Zahlungsbereitschaft der Kunden aus, so hat dies zur Folge, dass das MH Netzwerk, zum Teil in Kombination mit Direktverbindungen, in Bezug auf die Einzahlungsüberschüsse – egal ob eine niedere oder hohe Frequenzzahlungsbereitschaft angenommen wird – vorteilhafter gegenüber dem SH System wird. Lediglich ein einziger Fall, jener bei niedersten EDSS und niederer Zahlungsbereitschaft für Frequenz, bildet eine Ausnahme (Vgl. Abbildung 35).



**Abbildung 35: Auswirkung der MH-spezifischen Parameter in MH Fällen mit mindestens niedriger Zahlungsbereitschaft für Flugfrequenz bei niederen UPN<sup>408</sup>**

Der in der Grafik erkennbare Ausnahmefall ist zugleich der einzige Fall bei niederm Unterschied in den Zahlungsbereitschaften zwischen direkter und indirekter Verbindung, bei dem die maximal im Modell mögliche Menge auf direkten Verbindungen transportiert wird. In allen anderen Fällen wird zumindest ein Teil indirekt über die beiden Hubs des MH Systems geführt. Bei mehreren Parameterkonstellationen wird sogar die maximal mögliche Menge über die Hubs geroutet. Diese sind in folgender Tabelle in Abhängigkeit von den erzielten EDSS angeführt:

Economies of Density/ Scale/ Scope	Notwendige Parameterkonstellationen für maximalen Hub-Fluss	
	Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen	Flugfrequenz und Schedule Delay
<i>Gleich SH Nieder</i>	<i>Beliebig</i>	<i>Hoch</i>
<b>Kleiner SH Nieder</b>	Hoch	Hoch
<b>Viel kleiner SH Nieder</b>	Nie	Nie
<i>Gleich SH Hoch</i>	<i>Beliebig</i>	<i>Beliebig</i>
<b>Kleiner SH Hoch</b>	Beliebig	Hoch
<b>Viel kleiner SH Hoch</b>	Hoch	Hoch

**Tabelle 18: Notwendige Parameterkonstellationen für maximales Routing über die Hubs im MH System bei niederen UPN<sup>409</sup>**

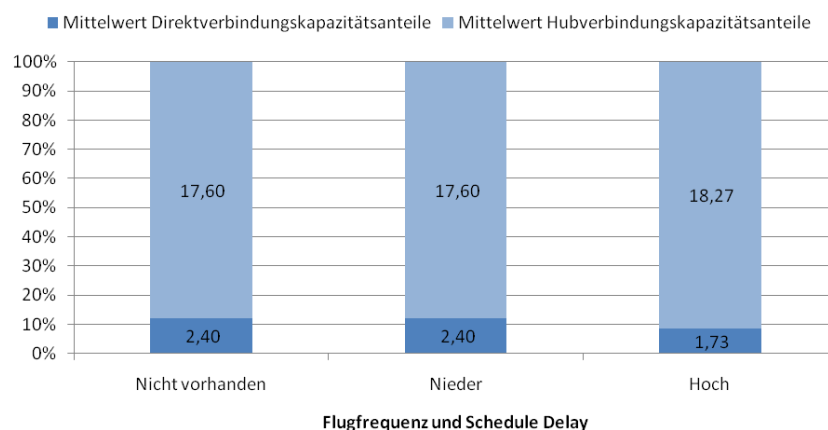
<sup>408</sup> Eigene Darstellung

In der Tabelle 18 gilt es zu beachten, dass jene Fälle, in denen im MH System gleich hohe Werte wie im SH System angenommen wurden, in der Praxis nicht realistisch sind.<sup>410</sup> Die geringeren Werte des Parameters für Veränderungen der Kosten aufgrund einer höheren Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen führen im hier betrachteten beispielhaften Modell lediglich zu einer Verstärkung der anderen Parameter. Sie wirken kostenseitig in die selbe Richtung wie höhere Frequenzzahlungsbereitschaften erlösseitig und führen dazu, dass das Routing über die Hubs in MH Netzwerken eher vorteilhaft wird.

In den vorangegangenen Ausführungen wurden geringe UPN zugrunde gelegt. Nun sollen diese als hoch angenommen werden.

Lediglich im Fall, in dem die EDSS gleich hoch wie im SH System und auch die beiden übrigen Parameter „Hoch“ sind, würde im MH Netzwerk zur Optimierung der Einzahlungsüberschüsse der gesamte Verkehr über die Hubs geroutet werden. Die Bereitschaft der Kunden einen höheren direkten Preis zu zahlen führt zudem dazu, dass die Strecke zwischen MAD und FCO nur im soeben angesprochenen Fall direkt und nicht indirekt angeboten wird. Dies gilt sowohl im SH, als auch im MH Netzwerk.

Wird von hohen EDSS im SH System ausgegangen, wird über die Hubs des MH Systems lediglich dann mehr als der durch die Nebenbedingung bedingte Fluss gelenkt, wenn die EDSS maximal kleiner aber nicht viel kleiner sind und die Zahlungsbereitschaft der Passagiere für Frequenzen hoch ist. Die Bedeutung der hohen Zahlungsbereitschaft für Frequenz in diesen Fällen sei mit folgendem Diagramm unterstrichen:



**Abbildung 36: Auswirkung unterschiedlicher Zahlungsbereitschaften für Flugfrequenzen als Mittelwert verschiedener MH Fälle ohne Kapazitätsrestriktionen und hohen UPN<sup>411</sup>**

Wird von niedrigeren EDSS bei SH Netzwerken ausgegangen, so wird das Mindestmaß des Hubverkehrs im MH System lediglich in jenem Fall überschritten, in dem diese gleich hoch sind wie im SH System und eine hohe Zahlungsbereitschaft für zusätzliche Frequenzen besteht. Zusammengefasst bedeutet dies, dass bei hoher Zahlungsbereit-

<sup>409</sup> Eigene Darstellung

<sup>410</sup> Simulationstechnisch ist die absolute Höhe der Parameter dennoch interessant.

<sup>411</sup> Eigene Darstellung



schaft für Direktverbindungen die vermehrte Verwendung von MH Systemen nur dann die Einzahlungsschüsse maximiert, wenn die Zahlungsbereitschaft für höhere Frequenzen auf der Verbindung in etwa gleich hoch wie für die Direktverbindung ist und sich die Einbußen durch den Verlust von EDSS in Grenzen halten (z.B.  $\alpha$  mit maximal 75% statt 60% im SH System). Wie angemerkt, wären SH Netzwerke dann aber in keinem Fall vorteilhaft.

Alles in allem, maximiert ein reines Multi-Hub System ohne Direktverbindungen zwischen den Spokes also nur in bestimmten Parameterkonstellationen die Zielfunktion. Direktverbindungen dürfen in Bezug auf die Zahlungsbereitschaften nicht zu attraktiv (nicht zu hohe UPN), EDSS nicht zu klein und das Erlöserzielungspotential aufgrund von höheren Frequenzen nicht zu nieder sein. Recht deutlich ist dies zu erkennen, wenn man die Anzahl jener der 216 MH Fälle betrachtet, bei denen ab einem gewissen Parameterwert die gesamten Verkehrsströme (d.h.  $\sum x_{ikj} = 20$ ) über die beiden Hubs des Netzwerks geroutet werden:

KR	#	UPN	#	EDSS	#	VNS	#	FSS	#
Ja	15	Nieder	28	Gleich SH Nieder	6	Nicht vorhanden	8	Nicht vorhanden	0
Nein	15	Hoch	2	Kleiner SH Nieder	2	Nieder	8	Nieder	6
				Viel kleiner SH Nieder	0	Hoch	14	Hoch	24
				Gleich SH Hoch	14				
				Kleiner SH Hoch	6				
				Viel kleiner SH Hoch	2				

KR ... Kapazitätsrestriktionen

UPN ... Unterschiede im Preisniveau zw. direkter/indirekter Verbindung

EDSS ... Economies of Density/ Scale/ Scope

VNS ... Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen

FSS ... Flugfrequenz und Schedule Delay

**Tabelle 19: Anzahl der Fälle je Parameterwert (von 216), in denen bei MH Systemen der gesamte Verkehr über die Hubs geroutet wurde<sup>412</sup>**

Multi-Hub Netzwerke zeigen also aufgrund des zusätzlichen Erlössteigerungs- und Kostensenkungspotentials die Möglichkeit, unter gewissen Umweltbedingungen (gegeben durch die Parameter im Simulationsmodell) die Einzahlungsüberschüsse in einem Netzwerk zu optimieren und zu maximieren. Es sind dabei jedoch stets die spezifische Konstellation der Parameter und die in diesem Simulationsmodell gewählten Annahmen und Einschränkungen zu beachten.

<sup>412</sup> Eigene Darstellung

## 6 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick



In dieser Arbeit wurden Multi-Hub Netzwerke zusammen mit anderen Netzwerktopologien aus zwei Perspektiven beleuchtet. Einerseits wurden die wesentlichsten Faktoren, die für oder gegen eine Verwendung von Multi-Hub Systemen sprechen, diskutiert und andererseits die wichtigsten im Rahmen eines beispielhaften Simulationsmodells untersucht. In diesem letzten Abschnitt sollen die Antworten auf die zu Beginn gestellten Forschungsfragen noch einmal zusammengefasst dargestellt werden.

**Forschungsfrage 1:** Jene Einflussfaktoren, die für eine betriebswirtschaftlich optimale Netzwerkgestaltung wesentlich sind, wurden in Kapitel 4 näher analysiert. Es zeigte sich, dass die bei Multi-Hub Netzwerken im Vergleich zu Single-Hub Systemen kleineren Economies of Density, Scale und Scope in Kombination mit eventuellen rechtlichen Problemen als wesentlichste Nachteile derselben benannt werden können. Für Multi-Hub Systeme spricht vor allem die Möglichkeit, höhere Flugfrequenzen anbieten und damit die Zahlungsbereitschaft der Passagiere ausnützen zu können. Weiters nützen Multi-Hub Netzwerke die Infrastruktur weniger stark aus und ermöglichen es aufgrund einer möglichen Positionierung in mehreren Einzugsgebieten, eine erhöhte Lokalnachfrage abzuschöpfen und gleichzeitig Nachfrageschwanken auszugleichen. Zudem lassen sie sich als Mittel zur Steigerung der Marktmacht aus Sicht der Fluglinie einsetzen.

Mit Hilfe des Simulationsmodells konnte gezeigt werden, dass es auf die richtige Konstellation der Parameter ankommt, ob anstelle von Punkt-zu-Punkt Verbindungen, Routen über einen oder zwei Hubs gewählt werden, um die Einzahlungsüberschüsse im Netzwerk zu maximieren. Single-Hub Systeme haben bei niedriger Zahlungsbereitschaft für Direktverbindungen und hohen Dichte- und Größenvorteilen einen Vorteil gegenüber Multi-Hub Netzwerken, wenn diese Dichte- und Größenvorteile, wie in der Theorie aufgearbeitet, kleiner als im Single-Hub System sind und für Multi-Hub Systeme keine weiteren Vorteile wirken. Sind Passagiere jedoch bereit, für höhere Frequenzen mehr zu bezahlen, sodass die durchschnittlich erzielten Preise steigen, und/oder die Kosten durch einen besseren Ausgleich von Nachfrageschwankungen sinken, dann werden Multi-Hub Netzwerke interessanter. Ob sie vorteilhaft sind (und wenn ja in welchem Ausmaß), ist im Simulationsmodell sehr stark von den Zahlungsbereitschaften für Direktverbindungen bzw. Flugfrequenzen und, vor allem wenn erstere hoch sind, von ausreichend hohen Economies of Density, Scope und Scale abhängig. Weniger bedeutend sind unter den gewählten Parameterwerten Kostenvorteile durch den Ausgleich von Nachfrageschwankungen. In Abhängigkeit der Parameter ist es auf vielen Strecken zur Maximierung der Einzahlungsüberschüsse sinnvoll, Destinationen direkt miteinander zu verbinden. Nur bei entsprechend vorteilhaften Parameterkonstellationen sind in der Simulation reine Multi-Hub Netzwerke ohne Direktverbindungen optimal. In den Single-Hub Fällen wurde zumindest jene Strecke, die das weiteste Backtracking erforderte, direkt verbunden.

**Forschungsfrage 2:** Aus diesen Ergebnissen resultieren mehrere Gestaltungsempfehlungen für mehrfachverbundene Multi-Hub Systeme im europäischen Luftverkehr. Nachdem die Zahlungsbereitschaften für Direktverbindungen und für Flugfrequenzen wesentliche Argumente für die Gestaltung des Netzwerks darstellen, gilt es, diese im eigenen Markt zu analysieren. Vor allem bei entsprechend hoher Zahlungsbereitschaft für Flugfrequenz kann das Multi-Hub System eine interessante Option darstellen. Dazu ist jedoch notwendig, dass der Flugplan auch entsprechend auf hohe Frequenzen hin optimiert wird. Multi-Hub Systeme sind aber nur dann wirklich sinnvoll, wenn die Hubs des Systems in entsprechenden Ballungsräumen platziert werden. Das zusätzliche Nachfragepotential derselben stellt ein wesentliches Argument für die Vorteilhaftigkeit dar. Wichtig ist, dass die Verluste von Dichte- und Größenvorteilen, die unweigerlich beim Wechsel von einem Single- auf ein Multi-Hub Netzwerk entstehen, zuvor analysiert werden. Sind diese bereits vor dem Wechsel nieder, kann die Umgestaltung ein Problem darstellen. Bei der Netzwerkplanung sind Multi-Hub Systeme von hoher Bedeutung, wenn die Kapazitäten auf dem wichtigsten Flughafen knapp werden und damit Wachstumsmöglichkeiten begrenzt sind. Hier kann eine frühzeitige strategische Ausrichtung auf ein Multi-Hub Netzwerk erhebliche wettbewerbspolitische Vorteile schaffen. Selbstverständlich sind all diese Schritte nur insoweit möglich, als sie im Rahmen der gesetzlichen Möglichkeiten liegen.

Zusammenfassend stellen Multi-Hub Netzwerke eine interessante, strategische Option für ein zukunftsgerichtetes, gewinnbringendes Wachstum europäischer Fluglinien dar, welches es entsprechend der aktuellen eigenen Positionierung zu bewerten gilt. Als Ansatz für weitere Untersuchungen bietet sich zunächst vor allem eine empirische Untersuchung bestehender Multi-Hub Systeme an. Weiters würde eine detailliertere Analyse der Zahlungsbereitschaften einerseits für direkte anstelle von indirekten Verbindungen und andererseits für eine höhere Anzahl an Flugverbindungen zur Diskussion um Multi-Hub Systeme beitragen. Darüber hinaus sollten Multi-Hub Systeme mit geographischer Spezialisierung (ohne bedingte Mehrfachanbindung) einer eingehenden Untersuchung unterzogen werden. Schließlich könnten auch die möglichen Kosteneinsparungen durch eine höhere Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen näher analysiert werden.

## Abstract

This thesis deals with the topic of multi-connected multi-hub networks using the example of European airlines. Over the last decades the airline industry has undergone a period of drastic structural change. Especially mergers and capacity constraints at airports have left some European airlines with networks consisting of several hubs. Therefore this thesis on the one hand identifies and analyses those factors that are important for optimizing networks with multi-connected multiple hubs and on the other hand develops recommendations for airlines that have to deal with such a type of network. Hence, the first part of the paper focuses on factors that are important for managerial optimization of networks comparing the three network archetypes of point-to-point, single-hub and multi-hub. In addition, the second part tries to explore the interconnectedness of economies of density, scale and scope, the passengers' willingness to pay for direct connections or frequency, capacity constraints and cost advantages due to demand bundling for the different network types with an exemplary simulation based on the p-Hub Median model. 234 cases of parameter constellations were used as inputs for a linear target function maximizing airline returns.

The multi-hub approach is often seen as inferior to a single-hub model due to losses in economies of density, scale and scope. However, an increased paid-for frequency of service together with the possibilities of exploiting several catchment areas, of improved compensation of demand fluctuations and of experiencing higher market power towards airports, may result in the advantageousness of the multi-hub system. The simulation shows accordingly that in the case of not too heavy losses of economies of density, scale and scope and a low difference of prices between direct and indirect routes, a high enough passenger willingness to pay for frequency may result in the multi-hub approach being the optimal solution.

## Literaturverzeichnis

- Adler, N./Berechman, J. (2001): Evaluating optimal multi-hub networks in a deregulated aviation market with an application to Western Europe, in: *Transport Research Part A*, 35. Jg., Nr. 5, S. 373-390
- AEA (2005): AEA Market Research Quarterly, Association of European Airlines, Brüssel. [http://files.aea.be/RIG/source/Source\\_200503.pdf](http://files.aea.be/RIG/source/Source_200503.pdf) (17.04.2010)
- AEA (2009): Customer Report – Winter 2008/09, Association of European Airlines, Brüssel. <http://files.aea.be/News/PR/Pr09-016.pdf> (20.04.2010)
- Air France KLM (2009): Annual report 2008-09, Air France-KLM Group. [http://www.airfranceklm-finance.com/sysmodules/RBS\\_fichier/admin/download.php?fileid=1207](http://www.airfranceklm-finance.com/sysmodules/RBS_fichier/admin/download.php?fileid=1207) (18.3.2010)
- Air Routing International (2010): Time and Distance Calculator (Great Circle), Air Routing International. <http://www.airrouting.com/content/TimeDistanceForm.aspx> (14.05.2010)
- Airbus (2010): Specifications Airbus A321, Airbus. <http://www.airbus.com/en/aircraft/families/a320/a321/specifications/> (18.04.2010)
- Airline Business (2006): Alliances', in: *Airline Business*, 22. Jg., Nr. 9, S. 45-87
- Airliners.de (2009): Lufthansa erhöht Druck auf München – Verlagerung nach Zürich und Wien?, in: *Airliners.de*. <http://www.airliners.de/nachrichten/bereiche/management/strategie/lufthansa-erhoeht-druck-auf-muenchen/18405> (14.04.2010)
- Albers, S./ Koch, B./Ruff, C. (2005): Strategic alliances between airlines and airports—theoretical assessment and practical evidence, in: *Journal of Air Transport Management*, 11. Jg., Nr. 2, S. 49-58
- Alumur, S./Kara, B. (2008): Network hub location problems: The state of the art, in: *European Journal of Operational Research*, 190 Jg., Nr. 1, S. 1-21
- Álvarez, Ó./Cantos, P./García, L. (2007): The value of time and transport policies in a parallel road network, in: *Transport Policy*, 14. Jg., Nr. 5, S. 266-376
- Austrian Airlines (2010): Austrian Airlines Buchen, Austrian Airlines. <http://www.austrian.com> (19.04.2010)
- Ball, M./Barnhart, C./Nemhauser, G./Odoni, A. (2007): Air Transportation: Irregular Operations and Control, in: Barnhart, C./Laporte, G. (Hrsg.): *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 14. Jg., S. 1-67
- Barla, P./Constantatos, C. (2000): Airline network structure under demand uncertainty, in: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 36. Jg., Nr. 3, S. 173-180
- Barla, P./Constantatos, C. (2005): Strategic interactions and airline network morphology under demand uncertainty, in: *European Economic Review*, 49. Jg., Nr. 3, S. 703-716
- Berechman, J./Shy, O. (1996): The structure of airline equilibrium networks, in: van den Bergh, J.C.J.M./Nijkamp, P./Rietveld, P. (Hrsg.): *Recent advances in spatial equilibrium modelling*, Springer-Verlag, Berlin, S. 138–155
- Bhadra, D. (2009): You (expect to) get what you pay for: A system approach to delay, fare and complaints, in: *Transportation Research Part A*, 43. Jg., Nr. 9, S. 829-843

- Binggeli, U./Pompeo, L. (2006): Analyst Viewpoint – Does the S-Curve still exist?, IATA Economics. [http://www.iata.org/whatwedo/Documents/economics/McKinsey\\_SCurve.pdf](http://www.iata.org/whatwedo/Documents/economics/McKinsey_SCurve.pdf) (20.04.2010)
- Boeing (2010): Commercial Airplanes – Jet Prices, Boeing. <http://www.boeing.com/commercial/prices/> (18.04.2010)
- Brandstädt, A. (1994): Graphen und Algorithmen, Teubner-Verlag, Stuttgart
- Bråthen, S./Eriksen, K. S./Hjelle, H. M./Killi, M. (2000): Economic appraisal in Norwegian aviation, in: Journal of Air Transport Management, 6. Jg., Nr. 3, S. 153-166
- Brueckner, J. K. (2004): Network Structure and Airline Scheduling, in: The Journal of Industrial Economics, 52. Jg., Nr. 2, S. 291-312
- Brueckner, J. K./Zhang Y. (2001): A Model of Scheduling in Airline Networks: How a Hub-and-Spoke System Affects Flight Frequency, in: Journal of Transport Economics and Policy, 35. Jg., Nr. 2, S. 195-222
- Bryan, D. L./O’Kelly M. E. (1999): Hub-and-Spoke Networks in Air Transportation: An analytical review, in: Journal of Regional Science, 39. Jg., Nr. 2, S. 275-295
- Bunse, T. (2000): Kundenzufriedenheit und Wartezeiten - Eine empirische Analyse für den Luftverkehr. [http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/183/pdf/Diss\\_Till\\_Bunse.pdf](http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/183/pdf/Diss_Till_Bunse.pdf) (28.04.2010)
- Butler, R. V./Huston, J. H. (1989): How contestable are airline markets?, in: Atlantic Economic Journal, 17. Jg., Nr. 2, S. 27-35. [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_hb6413/is\\_n2\\_v17/ai\\_n28583813/?tag=content;col1](http://findarticles.com/p/articles/mi_hb6413/is_n2_v17/ai_n28583813/?tag=content;col1) (20.04.2010)
- Campbell, J. F. (1996): Hub Location and the p-Hub Median Problem, in: Operations Research, 44. Jg., Nr. 6, S. 923-935
- CAPA (2009): The airline-airport charges battle intensifies. Lufthansa-Fraport link unravelling?, in: Center for Asia Pacific Aviation. <http://www.centreforaviation.com/news/2009/07/24/the-airline-airport-charges-battle-intensifies-lufthansa-fraport-link-unraveling/page1> (14.04.2010)
- Connekt (2001): Ontwikkeling van het hub-concept, Connekt, Delft
- de Wit, J. G./Burghouwt, G. (2005): Strategies of multi-hub airlines and the implications for national aviation policies, Airneth, Amsterdam. [http://www.airneth.com/index.php/doc\\_download/1007-airneth-report-1-strategies-of-multi-hub-airlines-and-implications-for-national-aviation-policies.html](http://www.airneth.com/index.php/doc_download/1007-airneth-report-1-strategies-of-multi-hub-airlines-and-implications-for-national-aviation-policies.html) (25.01.2010)
- Dennis, N. (2000): Scheduling issues and network strategies for international airline alliances, Journal of Air Transport Management, 6. Jg., Nr. 2, S. 75-86
- Dennis, N. (2005): Industry consolidation and future airline network structures in Europe, in: Journal of Air Transport Management, 11. Jg., Nr. 3, S. 175-183
- Die Presse (2010): AUA-Landerechte in Moskau nur bis 1. Juli, in: Die Presse.com. <http://diepresse.com/home/wirtschaft/economist/554187/index.do?from=suche.intern.portal> (14.04.2010)
- Doganis, R. (2002): Flying off course - the economics of international airlines, 3. Auflage, Routledge-Verlag, London et.al.
- Doganis, R. (2006): The Airline Business, 2. Auflage. Routledge-Verlag, Oxon/New York

- Düdden, J.-C. (2006): Multi-Hub Network Configurations – A Temporary or Permanent Outcome of Airline Consolidation?, in: Review of Network Economies, 5. Jg., Nr. 4, S. 421-434
- ECAC/Eurocontrol (2004): Challenges to Growth 2004 Report (CTG04), Europäische Zivilluftfahrt-Konferenz, European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). [http://www.eurocontrol.int/eatm/gallery/content/public/library/CTG04\\_report.pdf](http://www.eurocontrol.int/eatm/gallery/content/public/library/CTG04_report.pdf) (28.04.2010)
- EU (2008): „Open Skies“-Luftverkehrsabkommen zwischen der EU und den USA: Am 30. März beginnt ein neues Zeitalter der transatlantischen Luftfahrt, Presseaus-sendung IP/08/474, Europäische Union, Brüssel. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/474&format=PDF&aged=1&language=DE&guiLanguage=en> (18.3.2010)
- Eurocontrol (2004): Evaluating the true cost to airlines of one minute of airborne or ground delay, European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). [http://www.eurocontrol.int/prc/gallery/content/public/Docs/cost\\_of\\_delay.pdf](http://www.eurocontrol.int/prc/gallery/content/public/Docs/cost_of_delay.pdf) (17.04.2010)
- Eurocontrol (2009a): Network Operations Report 2008 – Indicators and analysis of the ATM Network Operations Performance, European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). [http://www.cfm.eurocontrol.int/cfm/gallery/content/public/statistics/docs/Network\\_Operation\\_Report\\_2008.pdf](http://www.cfm.eurocontrol.int/cfm/gallery/content/public/statistics/docs/Network_Operation_Report_2008.pdf) (17.04.2010)
- Eurocontrol (2009b): CODA Digest – Delays to Air Transport in Europe, European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). [https://extranet.eurocontrol.int/http://prisme-web.hq.corp.eurocontrol.int/ecoda/coda/public/standard\\_page/codarep/2009/2009DIGEST.pdf](https://extranet.eurocontrol.int/http://prisme-web.hq.corp.eurocontrol.int/ecoda/coda/public/standard_page/codarep/2009/2009DIGEST.pdf) (17.04.2009)
- Eurocontrol (2009c): Standard Inputs for EUROCONTROL Cost Benefit Analyses, 4. Auflage, European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). [http://www.eurocontrol.int/ecosoc/gallery/content/public/documents/CBA%20examples/Standard\\_inputs\\_for\\_CBA\\_2009.pdf](http://www.eurocontrol.int/ecosoc/gallery/content/public/documents/CBA%20examples/Standard_inputs_for_CBA_2009.pdf) (17.04.2009)
- Europäisches Parlament (2000): Luftverkehr: Zugang zum Markt, Europäisches Parla-ment. [http://www.europarl.europa.eu/factsheets/4\\_5\\_5\\_de.htm](http://www.europarl.europa.eu/factsheets/4_5_5_de.htm) (13.05.2010)
- Eurostat (2010a): Luftverkehr – Detaillierte Daten über den Fluggastverkehr nach Mel-deländern und Strecken, Eurostat. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search\\_database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database) (02.04.2010)
- Eurostat (2010b): Urban Audit – Erhobene Daten für die Stadtregionen, Eurostat. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search\\_database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database) (24.04.2010)
- Eurostat (o.J.): Reference Manual on Air Transport Statistics, 5. Ausgabe, Eurostat. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/documents/Aviation%20Reference%20Manual%20version%205.pdf> (24.05.2010)
- Flughafen München (2004): Geschäftsbericht 2003, Flughafen München. [http://www.munich-airport.de/media/download/general/publikationen/de/geschber\\_03\\_de.pdf](http://www.munich-airport.de/media/download/general/publikationen/de/geschber_03_de.pdf) (29.04.2010)
- Flughafen München (2009a): Luftverkehrsstatistik – Statistischer Jahresbericht 2009. [http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/daten/jahresberichte/deutsch\\_2009.pdf](http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/daten/jahresberichte/deutsch_2009.pdf) (28.04.2010)

- Flughafen München (2009b): Geschäftsbericht 2008, Flughafen München.  
[http://www.munich-airport.de/media/download/general/publikationen/de/geschber\\_08\\_de.pdf](http://www.munich-airport.de/media/download/general/publikationen/de/geschber_08_de.pdf) (20.05.2010)
- Fraport (2010): Geschäftsbericht 2009, Fraport AG. [http://www.fraport.de/cms/investor\\_relations/dokbin/408/408575.geschaeftsbericht\\_2009.pdf](http://www.fraport.de/cms/investor_relations/dokbin/408/408575.geschaeftsbericht_2009.pdf) (24.04.2010)
- Garnadt, K. U. (2008): Lufthansa Hub Management & Management of Hubs, Lufthansa Präsentation. <http://investor-relations.lufthansa.com/fileadmin/downloads/de/charts-reden/LH-Investorentag-2008-06-02.pdf> (25.01.2010)
- Gillen, T./Oum, T. H./Tretheway, M. W. (1990): Airline Cost Structure and Policy Implications: A Multi-Product Approach for Canadian Airlines, in: Journal of Transport Economics and Policy, 24. Jg., Nr. 1, S. 9-34
- Gleissner, H./Femerling, J. C. (2008): Logistik – Grundlagen – Übungen – Fallbeispiele, Gabler-Verlag, Wiesbaden
- Globefeed (2010): Distance Calculator World. [http://distancecalculator.globefeed.com/World\\_Distance\\_Calculator.asp](http://distancecalculator.globefeed.com/World_Distance_Calculator.asp) (19.04.2010)
- GRA (2007): Economic Values for FAA Investment and Regulatory Decisions, a Guide, GRA Incorporated. [http://www.faa.gov/regulations\\_policies/policy\\_guidance/benefit\\_cost/media/ECONOMICVALUESFORFAAINVESTMENTANDREGULATORYDECISIONS10032007.pdf](http://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/benefit_cost/media/ECONOMICVALUESFORFAAINVESTMENTANDREGULATORYDECISIONS10032007.pdf) (27.04.2010)
- Grin, B (1998): Developments in Air Cargo, in: Butler, G. F./Keller, M. R. (Hrsg.): Handbook of Airline Marketing, McGraw-Hill Verlag, S. 75-93
- Hekmatfar, M./Pishvaei, M. (2009): Hub Location Problem, in: Farahani, R. Z./Hekmatfar, M. (Hrsg.): Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Contributions to Management Science, Physica-Verlag, Heidelberg, S. 243-270
- Hendricks, K./Piccione, M./Tan, G. (1995): The Economics of Hubs: The Case of Monopoly, in: The Review of Economic Studies, 62. Jg., Nr. 1, S. 83-99
- Hofer, C./Windle, R. J./Dresner, M. E. (2008): Price premiums and low cost carrier competition, in: Transportation Research Part E, 44. Jg., Nr. 5, S. 864–882
- Holloway, G. (2008): Straight and Lewvel – Practical Airline Economics, 3. Auflage, Ashgate-Verlag, Aldershot/Burlington
- IATA (2009): IATA Annual Report 2009, International Air Transport Association. <http://www.iata.org/pressroom/Documents/IATAAnnualReport2009.pdf> (19.03.2010)
- Iatrou, K./Oretti, M. (2007): Airline Choices for the Future – From Alliances to Mergers, Ashgate-Verlag, Hampshire/Burlington
- Jacquemin, M. (2006): Netzmanagement im Luftverkehr - Statische und dynamische Planungsmodelle zur Gestaltung von Hub&Spoke-Flugnetzwerken, Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
- Jäggli, F. (2000): Gestaltungsempfehlungen für Hub-and-Spoke-Netzwerke im europäischen Luftverkehr – Ein ressourcenbasierter Ansatz, Difo-Druck, Bamberg
- Jorge-Calderón, J. D. (1997): A demand model for scheduled airline services on international European routes, in: Journal of Air Transport Management, 3. Jg., Nr. 1, S. 23-35
- Klingenberg, C. (2005): The Future of Continental Traffic Program: How Lufthansa is Countering Competition, in: Delfmann, W./Baum, H./Auerbach, S./Albers, S.



- (Hrsg.): Strategic Management in the Aviation Industry, Ashgate-Verlag, Aldershot/Burlington, S. 165-184
- Kohl, N./Larsen, A./Larsen, J./Ross, A./Tiourine, S. (2007): Airline disruption management – Perspectives, experiences and outlook, in: Journal of Air Transport Management, 13. Jg., Nr. 3, S. 149-162
- Kokcharov, I. (2001): Failure probability assessment of parallel redundant structures, in: Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 36. Jg., Nr. 2, S. 109-114
- Koller, T./Müller, M. (2007): Das Märchen vom Mega-Hub, Weltoffenes Zürich. [http://www.weltoffenes-zuerich.ch/web/media/doks/WOZ\\_Bulletin1-07.pdf](http://www.weltoffenes-zuerich.ch/web/media/doks/WOZ_Bulletin1-07.pdf) (31.3.2010)
- Lan, S./Clarke, J.-P./Barnhart, B. (2006): Planning for Robust Airline Operations: Optimizing Aircraft Routings and Flight Departure Times to Minimize Passenger Disruptions, in: Transportation Science, 40. Jg., Nr. 1, S. 15-28
- Lijesen, M. G./Rietveld, P./Nijkamp, P. (2001): Hub premiums in European civil aviation, in: Transport Policy, 8. Jg., Nr. 3, S. 193-199
- Lufthansa (2009): Partnerschaft für die Zukunft mit Austrian Airlines, Lufthansa Präsentation. <http://investor-relations.lufthansa.com/fileadmin/downloads/de/weitere/LH-aua-charts-d.pdf> (25.01.2010)
- Lufthansa (2010): Geschäftsbericht 2009, Deutsche Lufthansa AG. <http://investor-relations.lufthansa.com/fileadmin/downloads/de/finanzberichte/geschaeftsberichte/LH-GB-2009-d.pdf> (18.3.2010)
- Malighetti, P./Paleari, S./Redondi, R. (2008): Connectivity of the European airport network: “Self-help hubbing” and business implications. in: Journal of Air Transport Management, 14. Jg., Nr. 2. S. 53-65
- Maurer, P. (2006): Luftverkehrsmanagement, 4. Auflage, Oldenburg-Verlag, Wien/München
- Mayer, G. (2001): Strategische Logistikplanung von Hub&Spoke-Systemen, Gabler-Verlag, Wiesbaden
- McShan, S./Windle, R. J. (1989): The Implications of Hub-and-Spoke Routing for Airline Costs and Competitiveness, in: Logistics and Transportation Review, 25. Jg., Nr. 3, S. 209-230
- MIT (2010): Average Daily Block Hour Utilization of Total Operating Fleet – All Aircraft, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. <http://web.mit.edu/airlinedata/www/2008%2012%20Month%20Documents/Aircraft%20and%20Related/Total%20Fleet/Average%20Daily%20Block%20Hour%20Utilization%20of%20Total%20Operating%20Fleet.htm> (18.04.2010)
- Morrison, S. A./Winston, C. (1995): The Evolution of the Airline Industry, The Brookings Institution, Washington
- Nägler, G./Stopp, F. (1996): Graphen und Anwendungen, Teubner-Verlag, Leipzig
- Olbrich, R./Battenfeld, D. (2005): Variantenvielfalt und Komplexität – kostenorientierte vs. marktorientierte Sicht, in: der markt, 44. Jg., Nr. 3-4, S. 161-173
- Oum, T. H./Zhang, A./Zhang, Y. (1995): Airline Network Rivalry, in: The Canadian Journal of Economics, 28. Jg., Nr. 4a, S. 836-857
- Ouyang, M./Yu, M.-H./Huang, X.-Z./Luan, E.-J (2008): Emergency response to disaster-struck scale-free networks with redundant systems, in: Physica A, 387. Jg., Nr. 18, S. 4683-4691

- Pels, E. (2001): A note on airline alliances, in: *Journal of Air Transport Management*, 7. Jg., Nr. 1, S. 3-7
- Pels, E. (2008): Airline network competition: Full-service airline, low-cost airlines and long-haul markets, in: *Research in Transport Economics*, 24. Jg., Nr. 1, S. 68-74
- Pompl, W. (2007): *Luftverkehr - eine ökonomische und politische Einführung*, 5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin et.al.
- Proussaloglou, K./Koppelman, F. S. (1999): The choice of air carrier, flight, and fare class, in: *Journal of Air Transport Management*, 5. Jg., Nr. 4, S. 193-201
- Ramjerdi, F./Rand, L./Sætermo, I. F./Sælensminde, K. (1997): The Norwegian Value of Time Study Part I, TØI report 379/1997. <http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%20D8I%20rapporter/1997/379-1997/379-1997-part1-el.pdf> (10.05.2010)
- Richard, O. (2003): Flight frequency and mergers in airline markets, in: *International Journal of Industrial Organization*, 21. Jg., Nr. 6, S. 907-922
- Ringbeck, J./Hauser, R./Franke, M./Clayton, E. (o.J.): „Aero“-Dynamik im europäischen Flughafensektor - Neuausrichtung wegen veränderter Nachfrage und Kostendruck erforderlich, Booz Allen Hamilton. [http://www.boozallen.com/media/file/eu\\_airports.pdf](http://www.boozallen.com/media/file/eu_airports.pdf) (28.04.2010)
- Rodrigue, J.-P. (2009): The Gravity Model, in: Rodrigue, J.-P./Comtois, C./Slack, B. (Hrsg.): *The Geography of Transport Systems*, 2. Auflage, Routledge-Verlag, London/New York. <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/meth5en/ch5m2en.html> (24.05.2010)
- Santos, G./Robin, M. (2010): Determinants of delays at European airports, in: *Transport Research Part B*, 44. Jg., Nr. 3, S. 392-403
- Schaefer, A. J./Johnson, E. L./Kleywegt, A. J./Nemhauser, G. L. (2005): Airline Crew Scheduling under Uncertainty, in: *Transportation Science*, 39. Jg., Nr. 3, S. 340-348
- Schneid, H. (2010): Liebesgrüße aus Moskau: AUA hat Landerechte, in: *Die Presse*, 26.03.2010. <http://diepresse.com/home/wirtschaft/international/548756/index.do?from=suche.intern.portal> (14.04.2010)
- Shooman, M. L. (2002): *Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design*, John Wiley & Sons-Verlag, New York
- Sieg, G. (2009): Grandfather rights in the market for airport slots, Technische Universität Braunschweig. [http://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/vwl/wp04\\_grandfather.pdf](http://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/vwl/wp04_grandfather.pdf) (03.05.2010)
- Star Alliance (2009): *Star Alliance – Strategic Alliances in Aviation*, Star Alliance. [http://www.staralliance.com/assets/doc/en/press/media-library/pdf/General\\_Presentation\\_APR09.pdf](http://www.staralliance.com/assets/doc/en/press/media-library/pdf/General_Presentation_APR09.pdf) (23.05.2010)
- Sterzenbach, R./Conrady, R. (2003): *Luftverkehr – Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch*, 3. Auflage, Ouldenbourg-Verlag, München/Wien
- The Economist (2000): A Jam at 32,000 Feet, in: *The Economist*, 05.02.2000, S. 57
- Travel Inside (2006): Lufthansa entzerzt Hubs. [http://www.travelmanager.ch/travelinside/de/notdArchiv.php?we\\_objectID=1102](http://www.travelmanager.ch/travelinside/de/notdArchiv.php?we_objectID=1102) (14.04.2010)

- Travel One (2005): So funktioniert ein Flughafen, Flughafen München, in: Travel One Wissen. [http://www.travel-one.net/fileadmin/pdf/update/towissen\\_muc.pdf](http://www.travel-one.net/fileadmin/pdf/update/towissen_muc.pdf) (03.05.2010)
- Tsoukalas, G./Belobaba, P./Swelbar, W. (2008): Cost Convergence in the US Airline Industry: An Analysis of Unit Costs 1995-2006, MIT Global Airline Industry Program, Cambridge. [http://web.mit.edu/airlines/news/news\\_new\\_documents\\_files/Unit%20Cost %20Convergence%20Revised%20April%202008.pdf](http://web.mit.edu/airlines/news/news_new_documents_files/Unit%20Cost%20Convergence%20Revised%20April%202008.pdf) (20.01.2010)
- US DoS (2010): Open Skies Agreements, U.S. Department of State. <http://www.state.gov/e/eeb/tra/ata/> (12.05.2010)
- Vahrenkamp, R./Mattfeld, D. (2007): Logistiknetzwerke - Modelle für Standortwahl und Tourenplanung, Gabler-Verlag, Wiesbaden
- Werdigier, J. (2007): Heathrow to open fancy, new Terminal 5 in 2008, in: The New York Times, 25.09.2007. <http://www.nytimes.com/2007/09/25/business/worldbusiness/25iht-heathrow.1.7628033.html> (28.04.2010)
- Wiezorek, B. (1998): Strategien europäischer Fluggesellschaften in einem liberalisierten Weltluftverkehr, Peter Lang-Verlag, Frankfurt am Main et.al.
- Wojahn, O. W. (2001): Airline network structure and the gravity model, in: Transportation Research Part E, 37. Jg., Nr. 4, S. 267-279
- Wojahn, O. W. (2002): The Impact of Passengers' Preferences Regarding Time and Service Quality in Airline Network Strucure, in: Journal of Transport Economics and Policy, 36. Jg., Nr. 1, S. 139-162

## Anhang

### A: Wechselkurse

In der Arbeit wurden folgende Wechselkurse für die Berechnungen verwendet:

Euro	Wert	Währung	Abrufdatum
1 € =	1,3496	U.S.-Dollar	18.04.2010
1 € =	7,263	Kroatische Kuna	19.04.2010
1 € =	7,8756	Norwegische Kronen	28.04.2010
1 € =	1,1513	Britische Pfund	30.04.2010

**Tabelle 20: In der Arbeit verwendete Wechselkurse<sup>413</sup>**

### B: Inputparameter des Simulationsmodells

In den folgenden Darstellungen sind die wesentlichsten Inputparameter des Simulationsmodells angeführt.

Gesucht	Kürzel	Einheit
Lokationsvariablen	$yk$	
Huballokationsvariablen	$x_{ikj}$	
Direktallokationsvariablen	$x_{ij}$	
Gegeben		
Anzahl Hubknoten	$p$	#
Hubkapazität in % der doppelten Gesamtmarktnachfrage	$\mu$	%
Unterschied zwischen indirekten und direkten Durchschnittserlösen (x-faches der indirekten Erl.)	$\delta$	%
Kostendegressionsfaktor für Verbindungen vom und zum Hub aufgrund von Economies of Density/ Scale/ Scope	$\alpha$	%
Kostenreduktionsfaktor durch Reduktion der Nachfrageschwankungen	$\beta$	%
Zahlungsbereitschaftsveränderung aufgrund Frequenz	$\lambda$	%
Durchschnittliche Stücktransportkosten von Knoten i nach Knoten j	$C_{ij}$	[GE/ME]
Transportaufkommen von Knoten i nach Knoten j	$W_{ij}$	[ME/P]
Durchschnittspreis pro Passagier auf einer direkten Transportroute von Knoten i nach Knoten j	$P_{ij}^D$	[GE/ME]
Durchschnittspreis pro Passagier auf einer indirekten Transportroute von Knoten i nach Knoten j	$P_{ij}^{ID}$	[GE/ME]
Minimaler Hubfluss für Kostendegression	$\gamma$	%

<sup>413</sup> Eigene Darstellung

Bezeichnungen		
Quell- und Zielknotenmenge	V	
Hubknotenmenge	$H \subset V$	
Quellknoten	$i \in V$	
Zielknoten	$j \in V$	
Hubknoten	$k \in H$	
Pfeilmenge	$(i,j) \in E$	

Knotenzuordnung	Flugh.	Bst.
Möglicher Hubknoten 1/ Spoke	FRA	A
Möglicher Hubknoten 2/ Spoke	MUC	B
Spoke	MAD	C
Spoke	FCO	D
Spoke	WAW	E

Tabelle 21: Parameterübersicht des Simulationsmodells<sup>414</sup>

[ME]   [PAX]	Zielknoten j				
Startknoten i	A	B	C	D	E
A	-	761.263	369.754	326.498	267.030
B	761.263	-	352.409	431.502	310.541
C	369.754	352.409	-	540.551	243.968
D	326.498	431.502	540.551	-	249.031
E	267.030	310.541	243.968	249.031	-

Tabelle 22: Transportaufkommen pro Jahr zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells<sup>415</sup>

[GE/ME] [€/PAX]	Zielknoten j				
Startknoten i	A	B	C	D	E
A	-	36,19	170,84	115,25	108,42
B	36,19	-	180,26	87,69	93,75
C	170,84	180,26	-	160,50	273,62
D	115,25	87,69	160,50	-	159,67
E	108,42	93,75	273,62	159,67	-

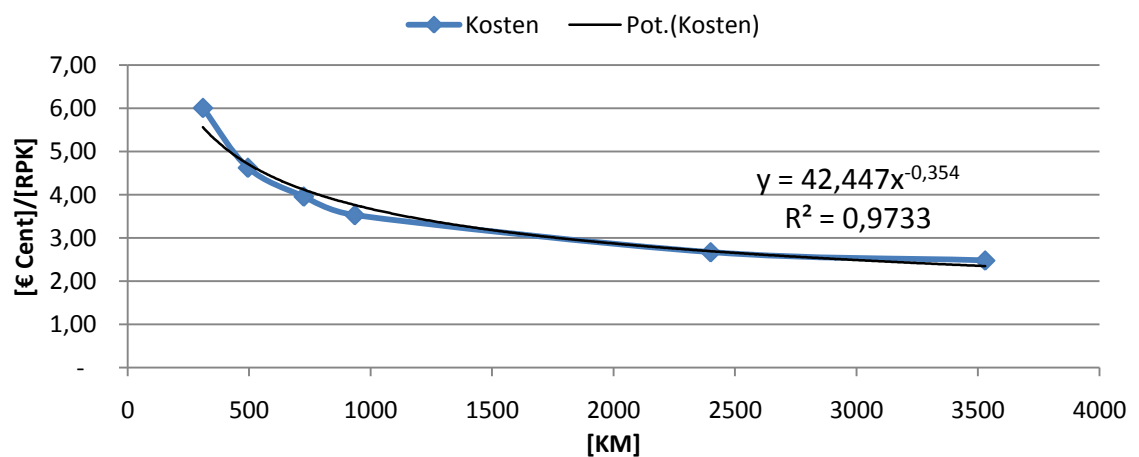
Tabelle 23: Transporterlöse pro Passagier zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells<sup>416</sup><sup>414</sup> Eigene Darstellung<sup>415</sup> Eigene Darstellung nach Eurostat (2010a): <http://epp.eurostat.ec.europa.eu><sup>416</sup> Eigene Darstellung

[GE/ME] [€/PAX]	Zielknoten j				
Startknoten i	A	B	C	D	E
A	-	16,93	46,15	35,79	34,40
B	16,93	-	47,78	30,00	31,32
C	46,15	47,78	-	44,33	62,56
D	35,79	30,00	44,33	-	44,18
E	34,40	31,32	62,56	44,18	-

**Tabelle 24: Transportkosten pro Passagier zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells<sup>417</sup>**

[KM]	Zielknoten j				
Startknoten i	A	B	C	D	E
A	-	301	1.420	958	901
B	301	-	1.498	729	779
C	1.420	1.498	-	1.334	2.274
D	958	729	1.334	-	1.327
E	901	779	2.274	1.327	-

**Tabelle 25: Entfernungen zwischen den Flughäfen des Simulationsmodells<sup>418</sup>**



**Abbildung 37: Kostendegression aufgrund der Streckenlänge bei einem Airbus A321 und ermittelte Regressionsgerade<sup>419</sup>**

<sup>417</sup> Eigene Darstellung

<sup>418</sup> Eigene Darstellung nach Air Routing International (2010), <http://www.airrouting.com>

<sup>419</sup> Eigene Darstellung nach Doganis (2002), S. 131

***C: Einstellungen für Excel Solver***

Einstellung	Wert
MaxTime	100
Iterations	1000
Precision	0,00001
AssumeLinear	True
StepThru	False
Estimates	1
Derivatives	1
SearchOption	1
IntTolerance	0,1
Scaling	True
AssumeNonNeg	True
Convergence	0,0001

**Tabelle 26: Verwendete Excel Solver Einstellungen<sup>420</sup>**

---

<sup>420</sup> Eigene Darstellung

**D: Ergebnisse der 232 Fälle**

Netzwerk- struktur	Kap.- restr.	Wert	Unterschie- de im Preisniveau zw. direk- ter/ indi- rekter Verbindung	Wert	Economies of Density/ Scale/ Scope	Wert	Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfra- geschwankungen	Wert	Flugfrequenz und Schedule Delay	Wert	Zielfunktio- nswert	Sum- me DV	Sum- me HV	Direktverbindungen						100% Kapazi- tätsausnutzung	
														C->D	D->C	C->E	E->C	D->E	E->D	Hub A	Hub B
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	571.616.986	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	643.745.948	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	721.474.662	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	582.636.570	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nieder	110%	655.871.687	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Hoch	120%	734.945.725	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	593.656.154	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nieder	110%	667.997.426	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Hoch	120%	748.416.787	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	544.068.025	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	614.299.127	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	690.222.241	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	556.465.058	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nieder	110%	627.390.870	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Hoch	120%	703.863.697	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	568.862.090	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nieder	110%	640.714.514	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja



Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Hoch	120%	718.106.897	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	530.293.545	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	599.982.991	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	675.065.067	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	543.379.301	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nieder	110%	613.571.808	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Hoch	120%	689.464.382	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	556.465.058	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nieder	110%	627.390.870	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Hoch	120%	703.863.697	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	627.584.003	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	706.255.316	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	788.829.975	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	636.678.307	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Nieder	110%	716.358.612	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Hoch	120%	798.933.272	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	645.772.611	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Nieder	110%	726.461.909	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Hoch	120%	809.036.569	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	585.391.466	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	658.903.122	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	738.313.490	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	595.722.327	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Nieder	110%	670.271.002	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Hoch	120%	750.942.612	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein

Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	606.053.187	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Nieder	110%	681.638.882	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Hoch	120%	763.571.733	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	544.068.025	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	614.299.127	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	690.222.241	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	556.465.058	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Nieder	110%	627.390.870	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Hoch	120%	703.863.697	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	568.862.090	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Nieder	110%	640.714.514	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Hoch	120%	718.106.897	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	662.889.985	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	739.773.949	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	816.657.912	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	673.909.569	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nieder	110%	750.793.533	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Hoch	120%	828.155.313	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	684.929.154	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nieder	110%	761.813.117	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Hoch	120%	839.798.310	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	635.341.025	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	712.224.988	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	789.108.952	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein

Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	647.738.057	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nieder	110%	724.622.020	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Hoch	120%	801.505.984	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	660.135.089	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nieder	110%	737.019.053	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Hoch	120%	813.903.016	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	621.566.544	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	698.450.508	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	775.334.471	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	634.652.301	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nieder	110%	711.536.264	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Hoch	120%	788.420.227	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	647.738.057	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nieder	110%	724.622.020	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Hoch	120%	801.505.984	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	717.987.906	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	794.871.870	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	876.175.526	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	726.252.595	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Nieder	110%	803.136.558	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Hoch	120%	885.269.830	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	734.517.283	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Nieder	110%	811.401.246	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Hoch	120%	895.370.783	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	676.664.465	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein

Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	753.548.429	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	831.064.589	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	686.995.326	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Nieder	110%	763.879.289	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Hoch	120%	842.071.886	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	697.326.186	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Nieder	110%	774.210.149	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Hoch	120%	853.439.766	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Ja
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	635.341.025	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	712.224.988	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	789.108.952	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	647.738.057	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Nieder	110%	724.622.020	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Hoch	120%	801.505.984	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	660.135.089	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Nieder	110%	737.019.053	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Ja	35%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Hoch	120%	813.903.016	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	571.616.986	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	643.745.948	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	721.474.662	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	582.636.570	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nieder	110%	655.871.687	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Hoch	120%	734.945.725	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	593.656.154	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein

Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nieder	110%	667.997.426	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Hoch	120%	748.416.787	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	544.068.025	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	614.299.127	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	690.222.241	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	556.465.058	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nieder	110%	627.390.870	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Hoch	120%	703.863.697	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	568.862.090	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nieder	110%	640.714.514	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Hoch	120%	718.106.897	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	530.293.545	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	599.982.991	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	675.065.067	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	543.379.301	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nieder	110%	613.571.808	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Hoch	120%	689.464.382	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	556.465.058	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nieder	110%	627.390.870	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Hoch	120%	703.863.697	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	627.584.003	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	706.255.316	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	788.829.975	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	636.678.307	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein



Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	739.773.949	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	816.657.912	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	673.909.569	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Nieder	110%	750.793.533	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nieder	95%	Hoch	120%	828.155.313	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	684.929.154	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Nieder	110%	761.813.117	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Hoch	90%	Hoch	120%	839.798.310	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	635.341.025	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	712.224.988	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	789.108.952	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	647.738.057	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Nieder	110%	724.622.020	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Nieder	95%	Hoch	120%	801.505.984	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	660.135.089	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Nieder	110%	737.019.053	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Nieder	90%	Hoch	90%	Hoch	120%	813.903.016	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	621.566.544	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	698.450.508	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	775.334.471	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	634.652.301	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Nieder	110%	711.536.264	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Nieder	95%	Hoch	120%	788.420.227	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	647.738.057	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein



Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Nieder	110%	724.622.020	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Nieder	95%	Hoch	90%	Hoch	120%	801.505.984	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	717.987.906	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	794.871.870	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	876.175.526	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	726.252.595	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Nieder	110%	803.136.558	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nieder	95%	Hoch	120%	885.269.830	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	734.517.283	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Nieder	110%	811.401.246	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Hoch	90%	Hoch	120%	895.370.783	-	20,0	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	676.664.465	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	753.548.429	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	831.064.589	1,6	18,4	0,4	0,4	-	-	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	686.995.326	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Nieder	110%	763.879.289	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Nieder	95%	Hoch	120%	842.071.886	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	697.326.186	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Nieder	110%	774.210.149	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Kleiner SH Hoch	75%	Hoch	90%	Hoch	120%	853.439.766	0,8	19,2	0,4	0,4	-	-	-	-	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	635.341.025	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Nieder	110%	712.224.988	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	Hoch	120%	789.108.952	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Nicht vorhanden	100%	647.738.057	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Nieder	110%	724.622.020	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein



Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Nieder	95%	Hoch	120%	801.505.984	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Nicht vorhanden	100%	660.135.089	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Nieder	110%	737.019.053	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Multi-Hub	Nein	120%	Hoch	120%	Viel kleiner SH Hoch	90%	Hoch	90%	Hoch	120%	813.903.016	2,4	17,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Nein	Nein
Single-Hub Offen	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	581.691.678	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Offen	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	605.456.394	8,9	11,1	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	Nein	Ja
Single-Hub Offen	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	701.956.409	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Offen	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	722.916.029	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Offen	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	581.691.678	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Offen	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	607.319.486	2,0	18,0	1,0	1,0	-	0,0	0,0	0,0	Nein	Nein
Single-Hub Offen	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	701.956.409	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Offen	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	722.916.029	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Beschränkt	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	581.063.086	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Beschränkt	Ja	35%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	603.944.897	8,6	11,4	1,0	1,0	0,0	-	1,0	1,0	Ja	Nein
Single-Hub Beschränkt	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	701.327.816	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Beschränkt	Ja	35%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	721.658.843	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Beschränkt	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	581.063.086	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Beschränkt	Nein	120%	Nieder	105%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	604.477.704	8,0	12,0	1,0	1,0	-	-	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Beschränkt	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Nieder	80%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	701.327.816	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein
Single-Hub Beschränkt	Nein	120%	Hoch	120%	Gleich SH Hoch	60%	Nicht vorhanden	100%	Nicht vorhanden	100%	721.658.843	12,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Nein	Nein

Tabelle 27: Ergebnisse der Fälle des Simulationsmodells<sup>421</sup><sup>421</sup> Eigene Darstellung



	Netzwerkstruktur	p	Kapazitäts- restriktionen	Net	$\mu$	Unterschiede im Preisniveau zw. direkter/indirekter Verbindung	Net	$\delta$	Economies of Density/ Scale/Scope	Net	$\alpha$	Verlässlichkeit in Bezug auf Nachfrageschwankungen	Net	$\beta$	Flugfrequenz und Scheduling Delay	Net	$\lambda$
1	Multi-Hub	2	Ja	111	35%	Nieder	111	105%	Gleich SH Nieder	111	80%	Nicht vorhanden	111	100%	Nicht vorhanden	111	100%
2	Single-Hub Offen	1	Nein	111	120%	Hoch	111	120%	Kleiner SH Nieder	100	90%	Nieder	100	95%	Nieder	100	110%
3	Single-Hub Beschränkt	1A							Viel kleiner SH Nieder	100	95%	Hoch	100	90%	Hoch	100	120%
4									Gleich SH Hoch	111	60%						
5									Kleiner SH Hoch	100	75%						
6									Viel kleiner SH Hoch	100	90%						
7																	

Abbildung 40: Arbeitsblatt mit den Parametereinstellungen als Input zur Berechnung der verschiedenen Fälle<sup>424</sup>

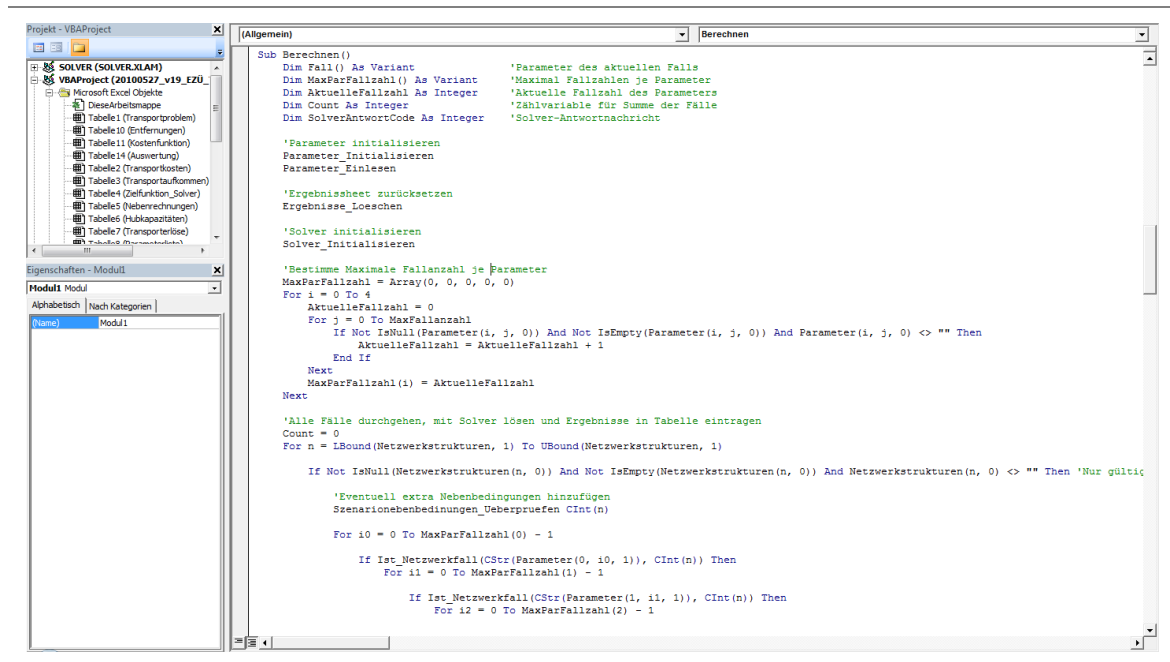


Abbildung 41: Ausschnitt des Visual Basic Codes zur automatisierten Berechnung der verschiedenen Fälle des Simulationsmodells<sup>425</sup>

<sup>424</sup> Eigene Darstellung

<sup>425</sup> Eigene Darstellung